MECHANIKA
CZASOPISMO TECHNICZNE
TECHNICAL TRANSACTIONS
MECHANICS
WYDAWNICTWO POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ
5-M/2012
ZESZYT 10
ROK 109
ISSUE 10
YEAR 109

MICHAŁ KLUZIEWICZ*, MICHAŁ MANIOWSKI*

PORÓWNANIE EFEKTYWNOŚCI WYŚCIGOWEJ I RAJDOWEJ TECHNIKI POKONANIA ŁUKU SAMOCHODEM PRZEDNIONAPĘDOWYM

COMPARISON OF RACE AND RALLY DRIVING TECHNIQUES EFFICIENCY IN FRONT-WHEEL DRIVE CAR CORNERING

Streszczenie

W artykule porównano wyniki badań modelowych opisujących sportowe techniki pokonywania wybranego łuku poziomego drogi samochodem o napędzie kół przednich. W przypadku wysokich wartości przyczepności nawierzchni i prędkości samochodu stosuje się wyścigowe techniki prowadzenia. Im bardziej śliska lub luźna jest nawierzchnia drogi, tym częściej wykorzystuje się techniki określane jako rajdowe. Do analizy symulacyjnej wykorzystano nieliniowy model (tzw. rowerowy) dynamiki samochodu przednionapędowego Peugeot 106 XSI (N-grupowy). Model zweryfikowano podczas badań drogowych. Do oceny efektywności rozważanych technik przejazdu tego samego łuku drogi o różnych współczynnikach przyczepności wykorzystano kryteria: czas przejazdu, prędkość początkowa i końcowa manewru, kąt znoszenia, prędkość zmian kąta znoszenia oraz możliwość korekcji trajektorii ruchu.

Słowa kluczowe: dynamika samochodu, techniki prowadzenia samochodu, rajdy, wyścigi

Abstract

Comparison of simulation results describing two driving techniques used in front-wheel drive car is presented. First (racing) technique is commonly used on high grip roads. Second (rally) technique is more frequently practiced on slippery or loose surfaces. The car motion is simulated with a single-track dynamic model that reproduces a front-wheel drive Peugeot 106 XSI (group N) car behavior. Cornering time, initial and final velocity, car slip angle and path corrections are the main factors used to evaluate the driving efficiency.

Keywords: vehicle dynamics, car driving techniques, rally, racing

* Mgr inż. Michał Kluziewicz (doktorant), dr inż. Michał Maniowski, Instytut Pojazdów Samochodowych i Silników Spalinowych, Wydział Mechaniczny, Politechnika Krakowska.

1. Wstęp

Współczesna literatura o tematyce sportów motorowych oraz szybkiej jazdy samochodem szeroko opisuje różnorodne techniki prowadzenia samochodu, skupiając się na dokładnej analizie czynności wykonywanych przez kierowcę [1, 2, 13, 14, 15]. Jednak bez zrozumienia zjawisk fizycznych zachodzących podczas ekstremalnej jazdy samochodem trudno jest doskonalić technikę jazdy.

Jednym z celów pracy jest częściowe wypełnienie tej luki przez przedstawienie wyników analizy czterech podstawowych sposobów pokonywania wybranego łuku poziomego drogi na różnych nawierzchniach wraz z oceną ich skuteczności. Przedstawione wyniki w przyszłości mogą posłużyć do pełniejszego pogrupowania i usystematyzowania wyścigowych i rajdowych manewrów.

Na odcinku drogi o dużej wartości współczynnika przyczepności (np. powyżej 0,5) zazwyczaj stosuje się tzw. wyścigową technikę kierowania [1]. Kierowca ma tu za zadanie wykorzystywać maksymalną przyczepność wszystkich kół do drogi, przy jak najmniejszych poślizgach (od kilku do kilkunastu procent), ustalając kompromis pomiędzy zwiększającymi się siłami stycznymi opon i oporami ruchu.

W przypadku mniejszych wartości współczynnika przyczepności drogi, a w szczególności na nawierzchniach luźnych (np. szuter, śnieg), częściej wykorzystuje się tzw. technikę rajdową, w której dopuszcza się duże poślizgi (powyżej kilkudziesięciu procent) kół samochodu [2, 15]. Zasadnicze jest tutaj wykorzystanie osi tylnej przez intensywniejsze hamowanie (przy użyciu sportowego korektora siły hamowania) do wywołania stanu zarzucenia samochodu w fazie zbliżania do wierzchołka łuku (punkt krzywoliniowej trajektorii ruchu o najmniejszym promieniu). Przejściowy stan nadsterowności nominalnie podsterownego, np. przednio-napędowego, uzyskuje się w wyniku odpowiedniego zaburzenia warunków ustalonego ruchu samochodu. Zasadniczą rolę odgrywają tu: zmiany obciążenia normalnego osi samochodu w wyniku przyspieszania lub hamowania, dodatkowe obciążenia poprzeczne opon konieczne do zmiany krętu w ruchu odchylania nadwozia oraz (iii) zależność sił podłużnych i poprzecznych przyczepności koła od złożonego poślizgu [4, 5].

Efektywność wyczynowego przejazdu odcinka drogi typu prosta–łuk–prosta można oceniać przez [10, 11]:

- **czas pokonania całego odcinka** (t_p) – jest zazwyczaj (obok prędkości wyjściowej) najważniejszym kryterium, choć na podstawie tylko czasu przejazdu trudno jest stwierdzić od czego ten wynik zależy;
- **maksymalna prędkość na prostej wyjściowej** (v_{wy}) – wskaźnik ten jest tym ważniejszy, im dłuższy jest odcinek prostej za łukiem („wyścigi zazwyczaj wygrywa się na prostej [1]"), zależy przede wszystkim od skuteczności rozpędzania samochodu;
- **maksymalna prędkość na prostej wejściowej** (v_{we}) – im większa może być prędkość na odcinku wejściowym, tym krótszy czas jego pokonania;
- **prędkość minimalna** (v_{min}) – najmniejsza prędkość zarejestrowana podczas pokonywania łuku zależy od oporów ruchu (poślizgów) oraz przyczepności poprzecznej w łuku, nie determinuje bezpośrednio wartości v_{wy};
- **ekstremalny kąt znoszenia** (β_e) – pozwala ocenić stan znoszenia osi tylnej; każda technika prowadzenia ma swój optymalny kąt znoszenia; zbyt duży kąt znoszenia oznacza zazwyczaj straty prędkości;

- **ekstremalna prędkość zmian kąta znoszenia** (β_e') – każda z rozważanych technik kierowania charakteryzuje się inną prędkością zmian kąta znoszenia, zbyt duże wartości β' mogą być trudne do opanowania dla kierowcy, a zbyt małe – wymagają wczesnego rozpoczęcia manewru;
- **łatwość realizacji sterowania** – wymagana precyzja i synchronizacja ruchów kierowcy (oceniane są pośrednio);
- **widoczność łuku** – możliwość wczesnego skierowania samochodu w stronę położenia końcowego i ominięcia ewentualnych przeszkód (oceniane są pośrednio);
- **możliwości korekcji** (prędkości i trajektorii ruchu) – ocena łatwości zmiany stanu ruchu samochodu, np. w wyniku przeszacowania prędkości wejścia (oceniane są pośrednio);
- **odległość środka masy pojazdu od krawędzi pasa drogowego** w momencie największego wykorzystania przyczepności poprzecznej – daje miarę wykorzystania szerokości toru wyścigowego oraz możliwego miejsca na korekty w sterowaniu pojazdem.

W artykule przedstawiono część wyników badań dotyczących różnych technik prowadzenia samochodu oraz ich optymalizacji [4, 6, 7], co może mieć zastosowanie do doskonalenia metod kierowania, oceny wpływu różnych parametrów konstrukcyjnych samochodu na jego osiągi, czy do programowania autonomicznych pojazdów [3].

2. Model samochodu Peugeot 106 XSi

Do analizy ruchu w poziomej płaszczyźnie równej i nieodkształcalnej drogi użyto tzw. rowerowego modelu [5, 8, 9, 10] samochodu Peugeot 106 XSi gr. N (107 KM, 810 kg, napęd przedni). Model składa się z trzech brył sztywnych odpowiadających nadwoziu samochodu oraz zredukowanym kołom osi przedniej i tylnej. Do osi kół przykładany jest moment napędowy lub hamujący. Model fizyczny o pięciu stopniach swobody, opisanych przez współrzędne: x, y, ψ, φ_p oraz φ_t, sformułowano przy następujących założeniach:

- pominięto efekty związane z pracą zawieszeń kół (brak zmian kątów pochylenia kół, brak przechyłów poprzecznych i podłużnych nadwozia, itp.);
- charakterystyki znoszenia kół obu osi zredukowano do jednego śladu/koła;
- pominięto tzw. trapez kierowniczy, mechanizm różnicowy osi napędowej, momenty stabilizujące kół oraz wpływ dynamiki układu napędowego pojazdu.
- uwzględniono tzw. charakterystyki nabiegania opon.

Jako sparametryzowane wielkości wejściowe do modelu przyjęto: kąt obrotu kierownicy, wychylenie przyspiesznika, wychylenie pedału hamulca, wychylenie dźwigni hamulca awaryjnego (ręcznego), (V) wybór przełożenia w skrzyni biegów oraz (VI) załączenie lub wyłączenie sprzęgła.

Współpracę opon z nawierzchnią drogi w warunkach ustalonego ruchu opisano, wykorzystując semi-empiryczny model „Magic Formula", który umożliwia obliczenie sił stycznych w funkcji złożonego poślizgu wzdłużnego i poprzecznego oraz siły nacisku koła [12]. Kluczowe w pracy było przyjęcie (rys. 1) charakterystyk zależności współczynników sił stycznych opony od poślizgu wzdłużnego i poprzecznego na trzech rodzajach nawierzchni drogi, tj.:

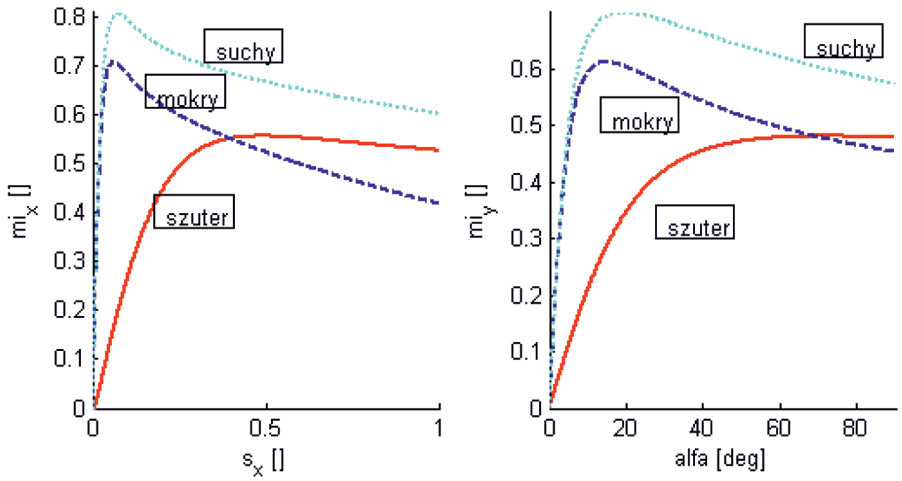
a) suchy asfalt ($\mu_{max} = 0{,}8$, umiarkowana degresja charakterystyki po przekroczeniu krytycznego poślizgu),

b) mokry asfalt (μ_{max} = 0,7, odporność na znoszenie bez zmian, zwiększona degresja charakterystyki po przekroczeniu krytycznego poślizgu),
c) szuter (μ_{max} = 0,55, odporność na znoszenie znacznie zmniejszona jako wpływ współpracy opony z luźną nawierzchnią, nieznaczna degresja charakterystyki po przekroczeniu krytycznego poślizgu).

Parametry modelu opony estymowano na podstawie wyników z badań drogowych, doświadczeń autorów oraz podobnych charakterystyk z literatury [1, 8]. W pracy [5] potwierdzono eksperymentalnie możliwość zastosowania modelu rowerowego do analizy omawianych stanów ruchu samochodu.

Uwzględniono także funkcjonalny model silnika spalinowego, który algebraicznie opisuje zależność momentu obrotowego od prędkości obrotowej wału korbowego i położenia przyśpiesznika. W przypadku braku wychylenia przyśpiesznika realizowane jest tzw. hamowanie silnikiem.

Układ piętnastu nieliniowych równań różniczkowych zwyczajnych pierwszego rzędu, opisujących przedstawiony model fizyczny rozwiązywano za pomocą pakietu Matlab.



Rys. 1. Przyjęte charakterystyki współczynników sił stycznych (wzdłużnych i poprzecznych) opony na nawierzchni typu suchy asfalt, mokry asfalt i szuter

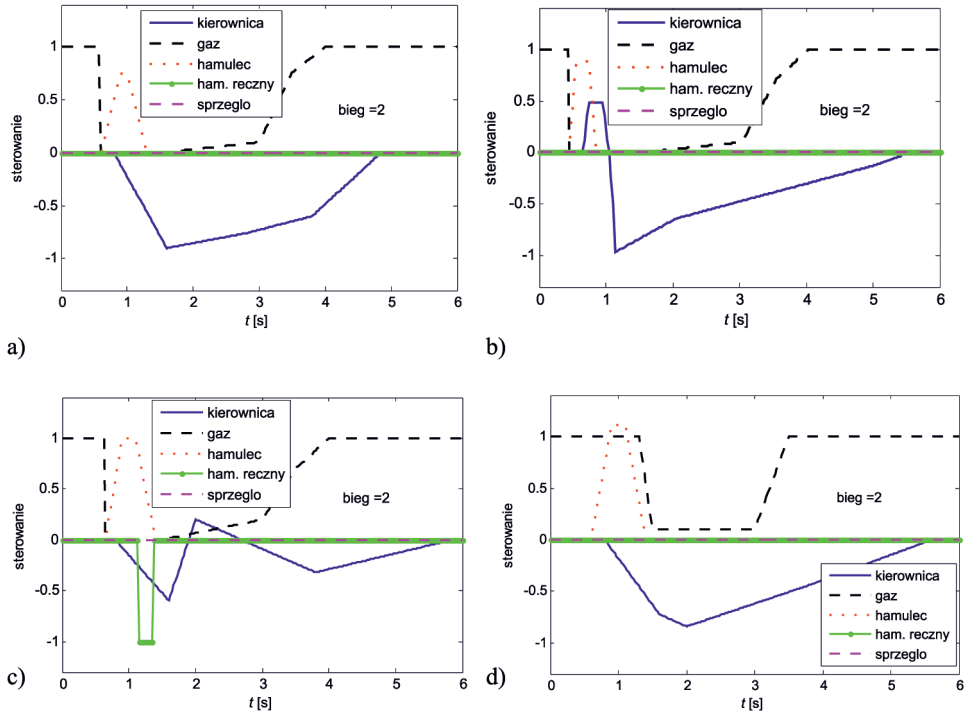
Fig. 1. Slip characteristics of tire longitudinal and lateral friction on dry, wet asphalt and gravel

3. Porównanie różnych technik przejazdu odcinka prosta–łuk–prosta

Badania symulacyjne dotyczyły następujących warunków:
– jednorodne nawierzchnie drogi (rys.1): asfaltowa sucha (μ = 0,8), asfaltowa zwilżona (μ = 0,7), szutrowa (μ = 0,55);
– parametry odcinka prosta-łuk prawy-prosta: długość odcinków prostej przed i za łukiem = 40 m, długość kątowa łuku = 70°, promień łuku = 25 m, szerokość pasa = 6 m;
– cały manewr rozpoczyna się od tej samej prędkości (75 km/h) i przebiega na biegu II;
– samochód nie może przekroczyć krawędzi pasa drogowego.

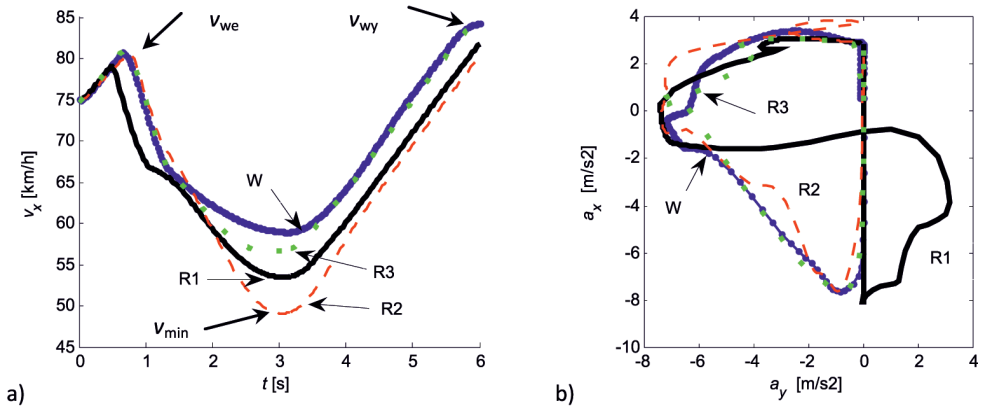
Na rys. 2. przedstawiono unormowane (kąt skrętu kierownicą o wartości 1 oznacza 250 stopni) przebiegi czasowe sterowania samochodem na suchej drodze prowadzonego różnymi technikami. Odpowiednie przebiegi dla nawierzchni mokrej i szutrowej mają podobny charakter.

Przebiegi czasowe prędkości samochodu podczas realizacji założonego manewru oraz zależności przyspieszeń podłużnych od poprzecznych porównano na rys. 3 dla różnych technik sterowania samochodem na suchej nawierzchni. Symulacyjnie wyznaczone trajektorie samochodu przedstawiono na rys. 4 (przypadek suchej nawierzchni), rys. 5 (przypadek mokrej nawierzchni) oraz rys. 6 (przypadek szutrowej nawierzchni), wraz z wyznaczonymi wskaźniki oceny efektywności różnych manewrów. Na podstawie otrzymanych wyników obliczeń opisano poniżej rozważane techniki wyczynowego pokonania łuku poziomego drogi. Ich najważniejsze zalety i wady podsumowano w tab. 1.



Rys. 2. Unormowane przebiegi czasowe sterowania samochodem podczas przejazdu odcinka prosta-łuk–prosta następującymi technikami: a) wyścigowa W, b) rajdowa R1, c) rajdowa R2, d) rajdowa R3

Fig. 2. Comparison of scaled control inputs of different driving techniques on dry road



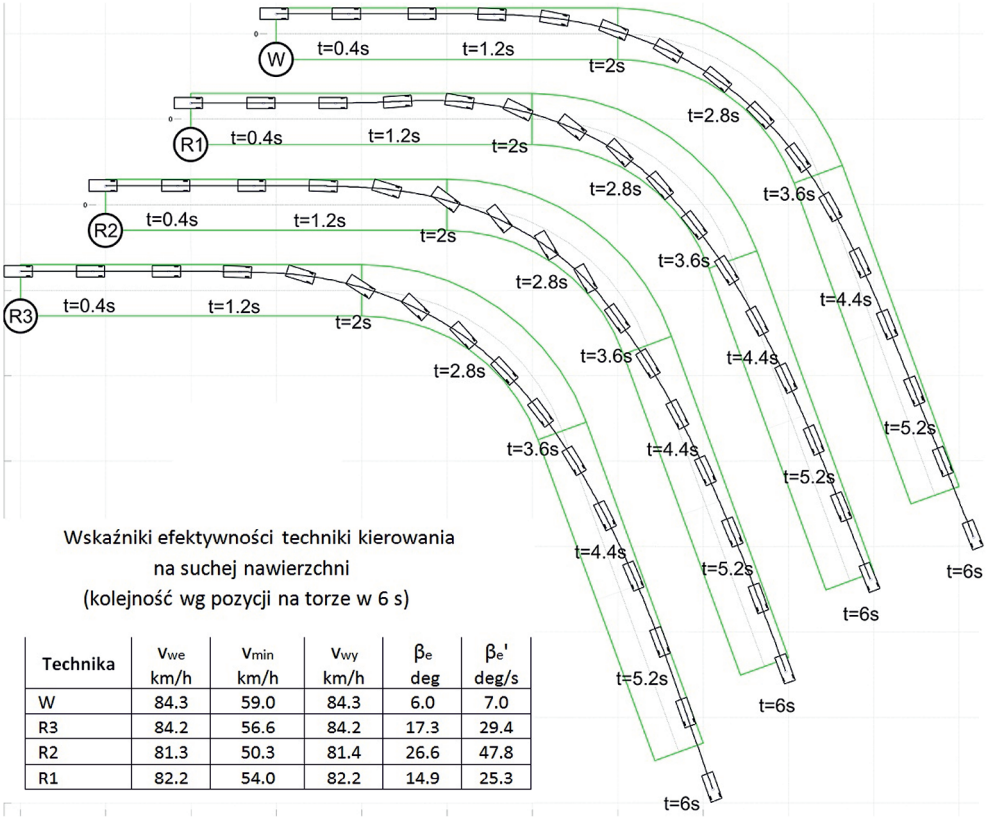
Rys. 3. Porównanie (a) zmian prędkości samochodu w czasie oraz (b) zależności jego przyspieszeń podłużnych od poprzecznych w różnych przypadkach kierowania samochodem na suchej nawierzchni

Fig. 3. Comparison of (a) car velocity variation in time and (b) longitudinal vs. lateral accelerations for different driving techniques on dry road

3.1. Technika wyścigowa W

Technika wyścigowa W (rys. 2a) polega na maksymalnym wykorzystaniu przyczepności opon w stanie umiarkowanej podsterowności samochodu przy niewielkim kącie znoszenia. Kierowca, zbliżając się do łuku, przerywa rozpędzanie samochodu (który osiąga określoną v_{we}, na rys. 3a) i rozpoczyna krótkie, ale płynne hamowanie, tak aby nie doprowadzić do nadmiernego poślizgu kół. Po osiągnięciu pożądanej prędkości przed łukiem następuje zwolnienie hamulca połączone ze skrętem kierownicy, tak aby do zmiany kierunku wykorzystać zwiększone siły styczne dociążonych przednich opon. Po osiągnięciu wierzchołka łuku (v_{min}, na rys. 3a) kierowca rozpoczyna przez wciśnięcie pedału przyspiesznika fazę rozpędzania (uzyskując określoną v_{wy}, na rys. 3a) połączoną z prostowaniem kół przednich. Priorytetem jest osiągnięcie maksymalnego opóźnienia podczas hamowania, następnie płynne zwalnianie hamulca połączone z rozpoczęciem skrętu kierownicą, a po osiągnięciu wierzchołka łuku rozpędzanie samochodu po trajektorii o jak najmniejszej krzywiźnie. Sterowanie powinno być możliwie najbardziej płynne (rys. 2a), bez dodatkowych korekcji w trakcie pokonywania łuku. Należy unikać nadmiernych poślizgów opon, co daje dodatkowe opory ruchu.

Technika wyścigowa jest bardziej efektywna przy większej prędkości ruchu i mniejszej szerokości pasa drogowego. Wymaga jednak od kierowcy precyzyjnego doboru sterownia do panujących warunków. W przypadku zbyt dużej prędkości wejściowej daje niewielkie możliwości korekcji trajektorii ruchu ze względu na pełne wykorzystanie przyczepności osi przedniej, a przez to zagrożenie płużenia samochodu do zewnętrznej krawędzi toru.



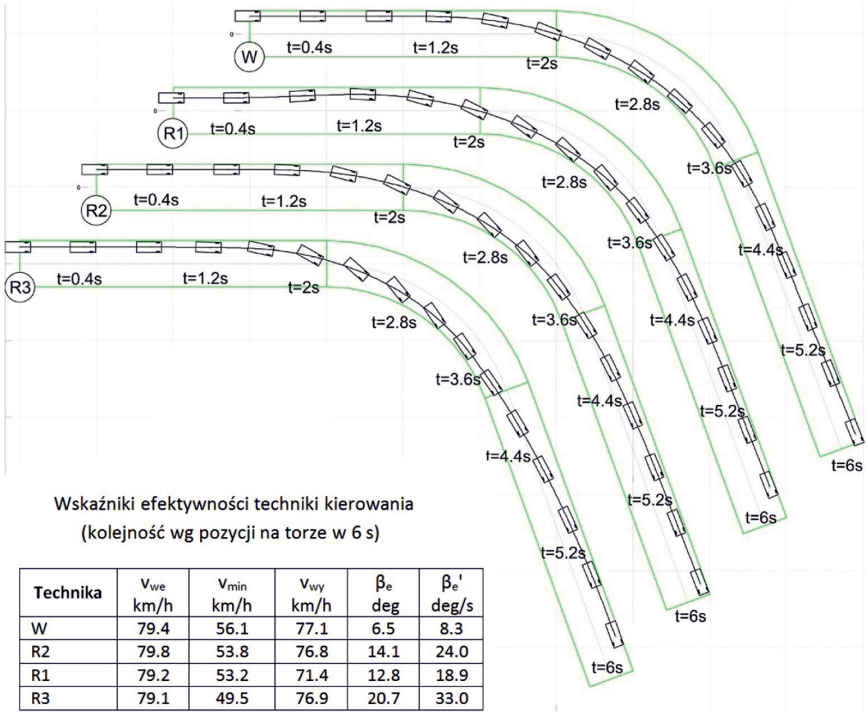
Technika	v_{we} km/h	v_{min} km/h	v_{wy} km/h	β_e deg	β_e' deg/s
W	84.3	59.0	84.3	6.0	7.0
R3	84.2	56.6	84.2	17.3	29.4
R2	81.3	50.3	81.4	26.6	47.8
R1	82.2	54.0	82.2	14.9	25.3

Rys. 4. Trajektorie samochodu pokonującego prawy łuk różnymi technikami na suchej nawierzchni

Fig. 4. Negotiation of right corner with different driving techniques on dry road

3.2. Technika rajdowa R1

Technika rajdowa R1 (rys. 2b) była wykorzystywana przez skandynawskich kierowców rajdowych na luźnych nawierzchniach już w latach sześćdziesiątych. Charakterystyczną sekwencją w tym manewrze jest wymuszenie kierownicą typu zwód (wahadło, *fish hook*, *scandinavian flick*). Pierwszy obrót kierownicy jest w stronę przeciwną niż łuk drogi, natomiast drugi, o większej amplitudzie, w stronę zgodną z łukiem. Ma to na celu zaburzenie ustalonego ruchu samochodu. Jednocześnie następuje zwolnienie przyspiesznika i/lub hamowanie w celu dociążenia przednich i odciążenia tylnych kół. Amplituda ruchów kierownicą oraz ich synchronizacja z hamowaniem mają decydujące znaczenie. Po wprowadzeniu pojazdu w stan zarzucenia kierowca zmniejsza kąt skrętu kół, aby nie dopuścić do zbyt dużego kąta znoszenia, wciska pedał przyśpiesznika.



Wskaźniki efektywności techniki kierowania
(kolejność wg pozycji na torze w 6 s)

Technika	v_{we} km/h	v_{min} km/h	v_{wy} km/h	β_e deg	β_e' deg/s
W	79.4	56.1	77.1	6.5	8.3
R2	79.8	53.8	76.8	14.1	24.0
R1	79.2	53.2	71.4	12.8	18.9
R3	79.1	49.5	76.9	20.7	33.0

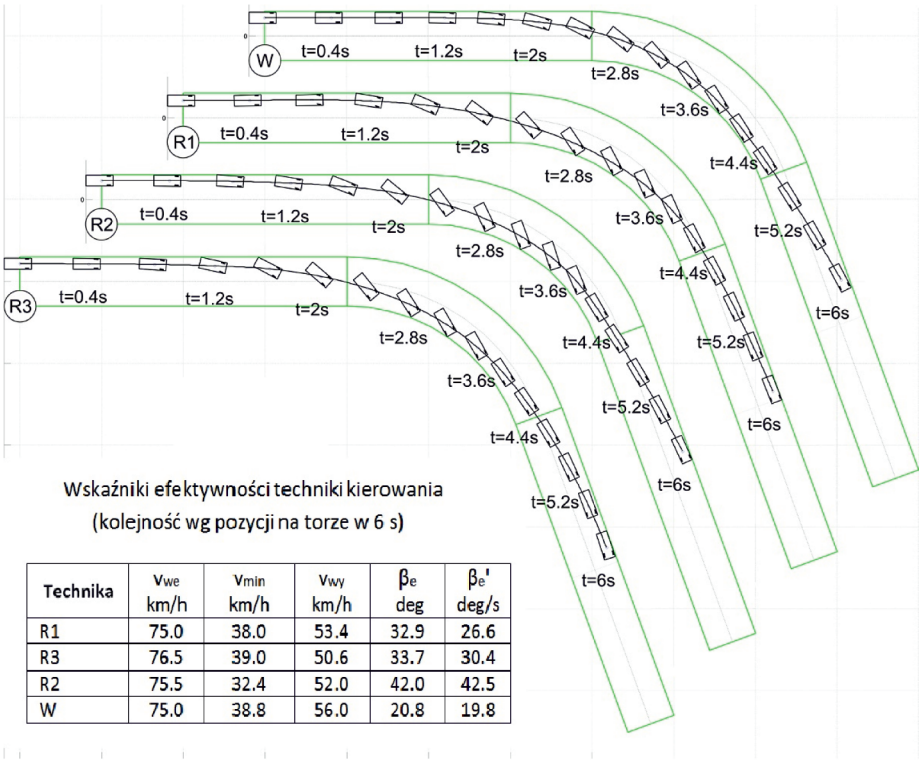
Rys. 5. Trajektorie samochodu pokonującego prawy łuk różnymi technikami na mokrej nawierzchni

Fig. 5. Negotiation of right corner with different driving techniques on wet road

Manewr wymaga innej pozycji początkowej samochodu względem krawędzi jezdni (rys. 4, 5, 6). Duży wpływ na rozwinięcie się stanu zarzucenia ma synchronizacja ruchów kierownicą ze zmianą obciążeń normalnych kół. Zaletą dużych znoszeń osi samochodu, na nawierzchniach takich jak szuter czy śnieg, jest wykorzystanie powierzchni bocznych opon do zgarniania podłoża, co daje w odpowiednim kierunku dodatkowe siły oporów, wykorzystywane jako składowe przyczepności. Pogłębienie oraz przedłużenie w czasie stanu zarzucenia daje możliwość zredukowania zbyt dużej prędkości wejścia.

3.3. Technika rajdowa R2

W technice rajdowej R2 (rys. 2c) stan zarzucenia wywołuje się użyciem hamulca ręcznego działającego na koła osi tylnej. W końcowej fazie hamowania hamulcem zasadniczym dodatkowo użyty zostaje hamulec ręczny, co daje szybko rozwijający się stan zarzucenia (nawet 50 deg/s na suchej nawierzchni, rys. 4), kontrolowany przez skręt kierownicą w kierunku przeciwnym do łuku (potocznie nazywany kontrą). Ruchy kierownicą mają mniejszą amplitudę niż w pozostałych technikach. Ze względu na sposób działania hamulca ręcznego sterowanie jest mało precyzyjne i łatwo może doprowadzić do niekontrolowanego zwiększania kąta znoszenia. W przypadku ciasnych nawrotów pokonywanych z mała prędkością daje natomiast pewność wyczerpania przyczepności kół osi tylnej, także przy małym momencie obrotowym silnika.



Technika	v_{we} km/h	v_{min} km/h	v_{wy} km/h	β_e deg	β_e' deg/s
R1	75.0	38.0	53.4	32.9	26.6
R3	76.5	39.0	50.6	33.7	30.4
R2	75.5	32.4	52.0	42.0	42.5
W	75.0	38.8	56.0	20.8	19.8

Rys. 6. Trajektorie samochodu pokonującego łuk różnymi technikami na szutrowej nawierzchni

Fig. 6. Negotiation of right corner with different driving techniques on gravel road

3.4. Technika rajdowa R3

Technika rajdowa R3 (rys. 2d) polega na jednoczesnym użyciu hamulca roboczego (wciskanego lewą stopą lub częścią prawej stopy) i pedału gazu. Ma to na celu zmianę obciążeń osi samochodu oraz chwilowe zwiększenie momentu hamującego kół tylnych w stosunku do przednich. W manewrze hamowania lewą nogą, w przeciwieństwie do innych technik, pedał przyśpiesznika jest zwalniany dopiero po zakończeniu hamowania. Oznacza to, że w momencie rozpoczynania skrętu kierownicą wciśnięte są oba pedały. W celu zredukowania momentu napędowego silnika na kołach przednich konieczne jest zwiększenie intensywności hamowania w porównaniu do innych technik. Amplituda ruchu kierownicą jest większa niż w przypadku użycia hamulca ręcznego (R2), ale mniejsza niż w przypadku techniki wyścigowej (W) i zwodu (R1). Szybkie wciśnięcie przyspiesznika na wyjściu z łuku umożliwia zmniejszenie kąta znoszenia. Zastosowanie tej metody wymaga odpowiednio dużego momentu obrotowego silnika i precyzji w sterowaniu lewą nogą. Nieodpowiednie wykonanie sekwencji ruchów może doprowadzić do przyhamowania przednich kół (które są wtedy skręcone) i dużej podsterowności. Przy odpowiednim stosowaniu jest najbardziej precyzyjną z rajdowych technik i umożliwia szybką korekcję (nogami) w każdej fazie pokonywania łuku.

Tabela 1

Porównanie różnych technik wyczynowego prowadzenia samochodu przednionapędowego

Technika	Zalety (+) i wady (–)
W – wyścigowa	+ najszybsza technika na przyczepnych odcinkach toru + stosunkowo łatwe sterowanie pojazdem + mniejsze zużycie opon + wymagana mniejsza szerokość pasa drogowego – mała możliwość korekcji trajektorii i prędkości – sterowanie wymaga płynności i wyczucia – mało efektywne wykorzystanie tylnej osi do hamowania i skręcania – faza rozpędzania na skręconych kołach – możliwość przeciążenia cieplnego hamulców i opon osi przedniej
R1 – rajdowa (zwód)	+ najłatwiejszy sposób wywołania zarzucenia praktycznie każdego samochodu, zwłaszcza przy dużych prędkościach ruchu + możliwa korekcja prędkości i trajektorii ruchu przez kąt znoszenia + wczesna widoczność wyjścia z łuku + przyspieszanie przy kołach na wprost + mniejsze obciążenie hamulców – wymagane jest więcej miejsca na przygotowanie manewru wejścia w łuk – konieczność synchronizacji sterowania – potrzebna jest większa szerokość pasa drogowego – zużycie opon – wymuszone przesunięcie pojazdu na odcinku wejściowym bliżej osi jezdni
R2 – rajdowa (hamulec ręczny)	+ technika efektywna szczególnie przy mniejszych prędkościach ruchu (nawroty) + pewność wyczerpania przyczepności osi tylnej – konieczność sterowania kierownicą jedną ręka w czasie użycia hamulca ręcznego – mała precyzja hamulca ręcznego – wymagany jest efektywny hamulec ręczny – możliwość przeciążenia hamulców osi tylnej
R3 – rajdowa (hamowanie lewą nogą)	+ szybkie sterowanie nogami, podczas gdy ręce mogą być cały czas na kierownicy – technika trudna do zrealizowania im większa prędkość ruchu, silnik o mniejszej mocy i bardziej przyczepna nawierzchnia drogi – przeciążenia hamulców i układu napędowego osi przedniej

5. Wnioski

Większość zalet i wad rozważanych wyścigowych i rajdowych technik prowadzenia samochodu przednionapędowego, znanych z własnych doświadczeń oraz dostępnych opisów literaturowych, została symulacyjnie potwierdzona w pracy. Przy czym rozważano tylko jeden określony samochód i łuk poziomy drogi, ale o różnej przyczepności jego nawierzchni. Im większa wartość przyczepności nawierzchni drogi i prędkość ruchu, tym efektywniejsze (ale mniej bezpieczne!) są przejazdy wyścigowe. W tym przypadku model symulacyjny uzyskał najkrótsze czasy pokonania rozważanego odcinka na suchej i mokrej nawierzchni asfaltowej (rys. 4 i 5), przy czym zbliżone wartości prędkości końcowej osiągnięto także techniką rajdową R3 i R2.

Na nawierzchniach o mniejszych wartościach przyczepności (np. poniżej 0,5), a szczególnie w przypadkach, gdy współczynnik ten tylko nieznacznie zależy od poślizgu (rys. 1 – szuter), krótsze czasu przejazdu od techniki wyścigowej (W) dają wszystkie rozważane techniki rajdowe (rys. 6). Dodatkowo techniki te są bezpieczniejsze (łatwiej zrealizować korekcję) w przypadku odcinków toru o nawierzchniach nierównych lub niejednorodnych, czy o ograniczonej widoczności.

Stosowane są także inne techniki, których tutaj nie omówiono. W praktyce podczas jazdy sportowej kierowca na jednym odcinku wykorzystuje różne techniki pokonywania łuków. Metoda kierowania jest na bieżąco dopasowywana do dynamicznie zmieniających się warunków i nieprzewidzianych zachowań samochodu. Często wybór techniki prowadzenia narzuca ukształtowanie sąsiadujących odcinków toru, charakterystyki użytych opon, czy silnika. Przedstawione próby zostały wielokrotnie przeprowadzone przez autorów w warunkach torowych na różnych samochodów przednionapędowych. Konstrukcja niektórych samochodów (np. hamulec ręczny działający na przednie koła lub automatyczne zamknięcie przepustnicy podczas hamowania) może uniemożliwić wykonanie tych manewrów.

Wiele szczegółów dynamiki ruchu samochodu wyczynowego pominięto, ponieważ wymagałoby to czterokołowego modelu samochodu, modelu kierowcy wyczynowego oraz modelu współpracy opony z odkształcalnym gruntem (np. typu szuter czy śnieg).

Planowane jest przeprowadzenie weryfikacji wszystkich manewrów ze zwróceniem szczególnej uwagi na charakterystyki opon na różnych nawierzchniach. Wykazanie różnic pomiędzy efektywnością rozważanych technik prowadzenia samochodu w warunkach drogowych jest jednak znacznie trudniejsze (niż w warunkach symulacji układu kierowca-samochód-droga) ze względu na wpływ typowych zakłóceń, np.: warunki atmosferyczne, zabrudzenie drogi, niepowtarzalność działania kierowcy.

Literatura

[1] Bentley R., *Speed Secrets: Professional Race Driving Techniques*, MBI, Osceola 1998.

[2] Bogdanow O.A., Cyganow E.S., *Sportowa Jazda Samochodem*, WKiŁ, Warszawa 1989.

[3] Hindiyeh Y., Gerdes Ch., *Driftkeeping: path tracking at the friction limits using high sideslip cornering*, International Association of Vehicle System Dynamics, Manchester 2011.

[4] Kluziewicz M., Maniowski M., *Stany nadsterowności podsterownego samochodu z przednim napędem*, Zeszyty Naukowe Instytutu Pojazdów Politechniki Warszawskiej, z. 1 (77), 2010, 169-177.
[5] Kluziewicz M., *Przejściowe stany nadsterowności podsterownego samochodu z przednim napędem*, Praca dyplomowa-magisterska, Wydział Mechaniczny, Politechnika Krakowska, Kraków 2010.
[6] Maniowski M., *Ustawienia samochodu rajdowego dla szybkiego pokonania hopy*, Zeszyty Naukowe Politechniki Świętokrzyskiej, nr 8, Kielce 2008, 235-242.
[1] Maniowski M., Materiały z koła naukowego „*Inżynier Ścigant*", Kraków 2011.
[7] Mitschke M., *Dynamik der Kraftfahrzeuge, Band B*, Springer-Verlag, 1984.
[8] Prochowski L., *Mechanika ruchu. Pojazdy samochodowe*, WKŁ, 2008.
[9] Velenis E., Tsiotras P., Lu J., *Modeling Aggressive Maneuvers on Loose Surfaces: The Cases of Trail-Braking and Pendulum-Turn*, Proceedings of European Control Conference, Kos, Greece, 2007, July 2-5.
[10] Velenis E., Tsiotras P., *Minimum time vs maximum exit velocity path optimization during cornering*, IEEE International Symposium on Industrial Electronics, (Dubrovnic, Croatia), June 20-23, 2005, 355–360.
[11] Wicher J., *Bezpieczeństwo samochodów i ruchu drogowego*, WKŁ, 2004.
[12] Driving Fast – strona poświęcona wyścigowym technikom jazdy (www.drivingfast.net).
[13] Turn Fast – strona poświęcona wyścigowym technikom jazdy.
[14] Zasada S., *Szybkość bezpieczna*, Alpha, Kraków 2004.