

WITOLD GRZEGOŹEK*, PAULINA NOGOWCZYK**

**ANALIZA MOŻLIWOŚCI KSZTAŁTOWANIA
CHARAKTERYSTYK WSPOMAGANIA UKŁADU
KIEROWNICZEGO Z WYKORZYSTANIEM
WYSIŁKU KIEROWANIA**

**ANALYSIS OF OPPORTUNITY OF POWER STEERING
CHARACTERISTICS ADJUSTMENT USING
STEERING EFFORT**

Streszczenie

We współczesnych samochodach przy projektowaniu regulacji wspomaganie układu kierowniczego niezwykle istotne stało się zapewnienie kierowcy korzystnego odczucia kierowania podczas jazdy.

W artykule autorzy poruszają problem zapewnienia kierowcy korzystnego odczucia kierowania osiągniętego dzięki właściwej regulacji wspomaganie układu kierowniczego. W tym celu, autorzy podejmują próbę oceny możliwości wykorzystania wysiłku kierowania do kształtowania charakterystyk układu kierowniczego. Dla wybranych samochodów autorzy przedstawiają wyniki badań drogowych i dokonują analizy uwzględniającej wysiłek kierowania.

Słowa kluczowe: wysiłek kierowania, wspomaganie układu kierowniczego

Abstract

It has become essential to design power steering regulation of modern cars in a way that guarantees favourable driver's steering feel. The article discusses the subject of achieving driver's favourable steering feel by adjusting power steering regulation properly. In order to solve this problem, the authors try to verify the hypothesis that steering effort is a quantity that can help to adjust steering system characteristics.

Keywords: steering effort, power steering

* Dr hab. inż. Witold Grzegożek, prof. PK, Instytut Pojazdów Samochodowych i Silników Spalinowych, Wydział Mechaniczny, Politechnika Krakowska.

** Mgr inż. Paulina Nogowczyk (doktorantka), Wydział Mechaniczny, Politechnika Krakowska.

1. Wstęp

Wspomaganie układu kierowniczego umożliwiło poprawę komfortu i bezpieczeństwa jazdy współczesnych samochodów. Przy projektowaniu regulacji wspomagania układu kierowniczego bardzo ważne stało się zapewnienie kierowcy korzystnego odczucia kierowania podczas jazdy.

Podanie zwięzłej i jednoznacznej definicji odczucia kierowania jest trudne, ponieważ pojęcie to należy do sfery odczuć człowieka, a jak wiadomo, są one subiektywne. Według autorów istotę tego pojęcia najlepiej ujmuje odpowiadające mu sformułowanie w języku angielskim: *road feel*, które dosłownie oznacza odczuwanie drogi. Zatem można powiedzieć, że odczucie kierowania jest to odczuwanie drogi, którego kierowca doświadcza podczas kierowania pojazdem, posługując się przy tym zmysłami wzroku i dotyku. Odczuwanie drogi to m.in. odbieranie przez kierowcę informacji dotyczących np. sił i momentów występujących na styku koła z nawierzchnią jezdni podczas kierowania pojazdem [9].

Niezakłócony dopływ tych informacji do kierowcy jest warunkiem dobrego odczuwania drogi przez kierowcę, a zatem jest warunkiem korzystnego odczucia kierowcy. Informacje te pomagają kierowcy w przewidywaniu, jak zachowa się prowadzony przez niego samochód w odpowiedzi na określony ruch wykonany kierownicą. W ostatnich latach można zaobserwować wzrost znaczenia odczucia kierowania. Jest to związane z planami wprowadzenia systemu *steer by wire* do nowoczesnych samochodów. Osiągnięte dzięki wspomaganiamu zmniejszenie wysiłku kierowania jest szczególnie korzystne podczas manewrowania pojazdem przy niskich prędkościach, np. podczas parkowania.

Istnieją pewne ekstremalne sytuacje, w przypadku których zmniejszenie wysiłku kierowania jest niekorzystnie odbierane przez kierowcę. Przykładem może być jazda po krętej drodze z prędkością większą niż prędkość, przy której wspomaganie układu kierowniczego jest wyłączane. W takich sytuacjach powszechnie stosowana regulacja wspomagania układu kierowniczego oparta wyłącznie na prędkości wydaje się być niewystarczająca ze względu na odczucie kierowania.

Dotychczas zostały zaproponowane różne metody pomiaru i oceny odczucia kierowania, ale stosowane techniki analizy wyników nie są, niestety, jednolite [6] i często ograniczają się do określenia wartości momentu obrotowego na kierownicy.

Według autorów niniejszego artykułu przy ocenie odczucia kierowania bardzo istotną rolę pełni przyspieszenie poprzeczne, m.in. dlatego, że jest ono w sposób jednoznaczny związane z takimi parametrami pojazdu, jak prędkość odchylenia i kąt znoszenia, stąd nowoczesna regulacja wspomagania układu kierowniczego powinna oprócz prędkości jazdy uwzględniać przyspieszenie poprzeczne pojazdu.

Autorzy przedstawiają próbę oceny możliwości wykorzystania wysiłku kierowania do kształtowania charakterystyk układu kierowniczego. Pojęcie wysiłku kierowania, którym posługują się autorzy niniejszego artykułu, jest ściśle związane z przyspieszeniem poprzecznym pojazdu. Pojęcie to zostało stworzone i zaprezentowane przez F. Jaksch'a w [8].

Autorzy przedstawiają wyniki i analizę badań eksperymentalnych i symulacyjnych. Analiza wysiłku kierowania będzie dotyczyła typowych manewrów, wynikających z sytuacji drogowych, takich jak np. podwójna zmiana pasa ruchu.

2. Wysiłek kierowania

Jak podkreślono we wstępie, wpływ przyspieszenia poprzecznego pojazdu na charakterystykę jego układu kierowniczego jest bardzo istotny. Ze względu na związek z prędkością odchylenia i kątem znoszenia pojazdu, przyspieszenie poprzeczne jest jedną z najważniejszych wielkości, które dostarczają kierowcy informacji o stanie ruchu pojazdu podczas jazdy i wpływają na jego odczucie kierowania.

Na podstawie wyników badań własnych i zaprezentowanych w dostępnej literaturze autorzy stwierdzili, że do regulacji wspomaganie układu kierowniczego można by zastosować wysiłek kierowania rozumiany jako parametr wykorzystujący przyspieszenie poprzeczne pojazdu.

We współczesnej literaturze wysiłek kierowania jest różnie definiowany. Najczęściej jest traktowany jako moment obrotowy na kole kierownicy [1–3, 10, 5].

Badania przeprowadzone przez autorów niniejszego artykułu wykazały, że przebieg momentu obrotowego na kierownicy w funkcji prędkości i przebieg momentu obrotowego na kierownicy w funkcji przyspieszenia poprzecznego mają jakościowo różny charakter. Wykazano, że regulacja wspomaganie oparta na wysiłku kierowania rozumianym jako moment obrotowy może być niewłaściwa z punktu widzenia odczucia kierowania. Niektórzy autorzy [7] podkreślają związek wysiłku kierowania z manewrami, które kierowca wykonuje kierownicą podczas jazdy. Tak pojmowane pojęcie wysiłku kierowania jest związane z oceną wizualną i doświadczeniem kierowcy. Jednak są one trudne do zmierzenia podczas badań.

Zdaniem autorów poprawne wydaje się być podejście, według którego wysiłek kierowania jest parametrem ściśle związanym z przyspieszeniem poprzecznym pojazdu. Podejście to prezentował F. Jakscha w pracy [8]. Wysiłek kierowania jest przez F. Jakscha de-

finiowany jako iloczyn gradientów: kąta obrotu kierownicy $\frac{d\delta_H}{da_y}$ i momentu obrotowego

$\frac{dM_H}{da_y}$ względem przyspieszenia poprzecznego a_y (unormowanego)

$$E' = \frac{d\delta_H}{da_y} \cdot \frac{dM_H}{da_y} \quad (1)$$

W powyższym wzorze symbolem a_y oznaczono przyspieszenie poprzeczne normowane przez podzielenie przez wartość przyspieszenia ziemskiego.

Autorzy zbadali zależność tak pojmowanego wysiłku kierowania od prędkości i przyspieszenia poprzecznego. Przeprowadzona analiza wykazała, że mają one jakościowo podobny charakter, co wskazuje na możliwości wykorzystania tak zdefiniowanego wysiłku kierowania do regulacji wspomaganie układu kierowniczego.

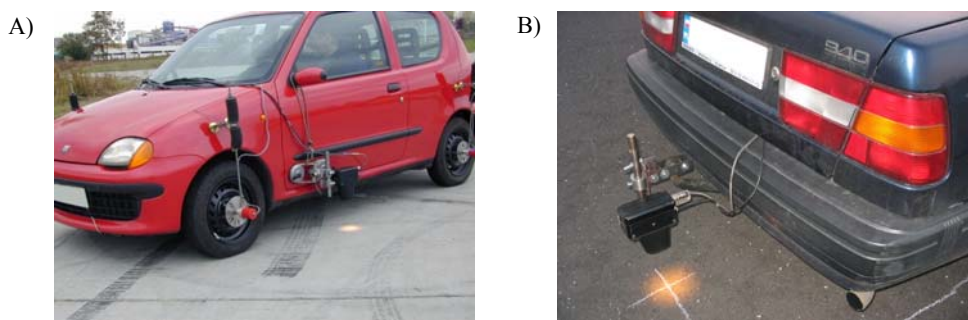
Przy projektowaniu tej regulacji wydają się być pomocne optymalna wartość wysiłku kierowania, określona przez F. Jakscha jako 5250 [°] [N·m] oraz ściśle związany z tą wartością przedział, w którym z punktu widzenia subiektywnego odczucia kierowcy, wysiłek kierowania jest uważany za korzystny ($1/5 \cdot E_{opt}$, $5 \cdot E_{opt}$).

Ocena układu kierowniczego oparta na wysiłku kierowania prawdopodobnie nie będzie przysparzać trudności, niezależnie od rodzaju pojazdu i od rodzaju manewru wykonywa-

nego podczas badań. Regulacja uwzględniająca zakres korzystnego wysiłku kierowania mogłaby umożliwić uzyskanie korzystnego odczucia kierowania i, być może, ułatwić dostosowanie regulacji układu wspomagania do indywidualnych potrzeb kierowcy.

3. Eksperymentalne badania dynamicznych charakterystyk układów kierowniczych

W celu oceny możliwości wykorzystania wysiłku kierowania do kształtowania charakterystyk układów kierowniczych zostały przeprowadzone badania eksperymentalne. Program badań obejmował manewr wejścia w łuk oraz manewr podwójnej zmiany pasa ruchu. Każdy z manewrów wykonano z prędkościami: 40, 50, 60 i 70 km/h. Do badań wykorzystano dwa samochody przedstawione na poniższym rysunku.



Rys. 1. Badane pojazdy z zamontowanymi głowicami systemu Correvit S-CE typu L + Q

Fig. 1. Examined vehicles with Correvit S-CE L + Q optical sensors

Samochód A miał napęd przedni, natomiast samochód B – napęd tylny. Obydwa pojazdy były wyposażone w układy kierownicze z przekładnią zębatkową. Układ kierowniczy samochodu A nie miał wspomagania, w przeciwieństwie do samochodu B. Wspomaganie układu kierowniczego samochodu B było podczas prób odpowiednio włączane i wyłączane. Dzięki temu możliwe było sprawdzenie wysiłku kierowania przy istniejącym, charakterystycznym dla danego pojazdu poziomie regulacji wspomagania.

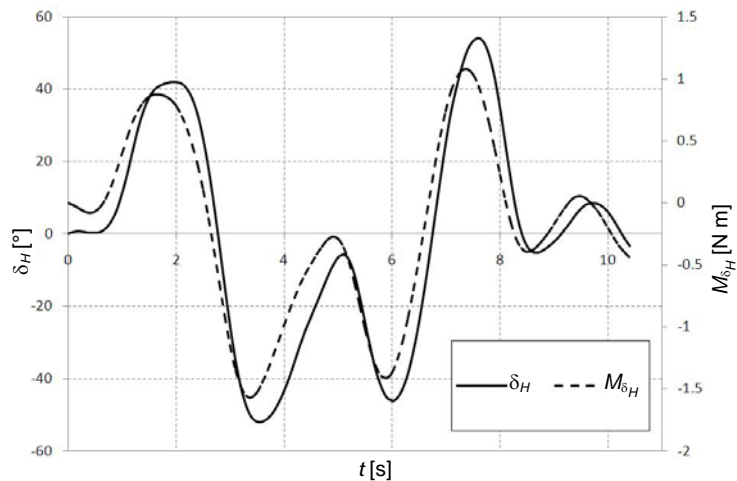
Podczas badań dla obydwu pojazdów mierzono i rejestrowano następujące wielkości:

- kąt obrotu kierownicy δ_H (z dokładnością $0,5^\circ$),
- moment obrotowy na kole kierownicy $M_{\delta H}$ $0,2$ (z dokładnością $0,2$ N m),
- prędkość odchylenia samochodu $\dot{\psi}$ (z dokładnością $0,5^\circ/s$).

Dla każdego pojazdu zastosowano inną metodę pomiaru przyspieszenia poprzecznego. W przypadku pojazdu A przyspieszenie poprzeczne zostało obliczone na podstawie zmierzonych wartości składowych: wzdłużnej V_L i poprzecznej V_Q , wektora prędkości wybranego punktu nadwozia. Pomiar ten był realizowany za pomocą głowicy pomiarowej Correvit S-CE typu L + Q. Podczas badań samochodu B przyspieszenie poprzeczne było mierzone i rejestrowane za pomocą wielokanałowego bloku pomiarowego *cross bow*. Urządzenie to umożliwia bezpośredni pomiar prędkości kątowych i przyspieszeń względem określonych osi pojazdu.

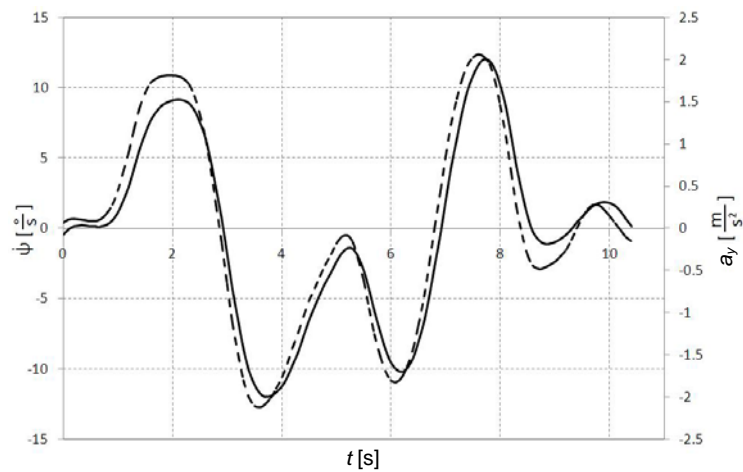
4. Prezentacja i analiza wyników badań

Podczas obróbki wyników badań szczególną uwagę poświęcono wielkościom związanym z wysiłkiem kierowania: momentowi obrotowemu na kierownicy i kątowi obrotu kierownicą. Przykładowe przebiegi tych wielkości w funkcji czasu przedstawiono na rys. 2.



Rys. 2. Przykładowe przebiegi momentu obrotowego na kierownicy i kąta obrotu kierownicą, prędkość jazdy 40 km/h, pojazd B

Fig. 2. An example of torque and steering wheel angle runs, travelling speed 40 km/h, vehicle B



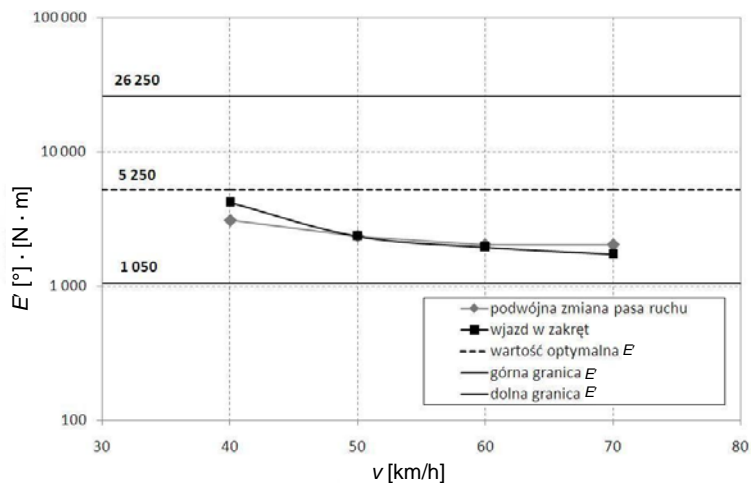
Rys. 3. Przykładowe przebiegi prędkości odchylenia i przyspieszenia poprzecznego, prędkość jazdy 40 km/h, pojazd B

Fig. 3. An example of yaw velocity and lateral acceleration runs, travelling speed 40 km/h, vehicle B

Zgodnie z powyższym rysunkiem przebiegi momentu obrotowego na kierownicy i kąta obrotu kierownicą, rozpatrywane w funkcji czasu, charakteryzowały się dużą zmiennością w przypadku manewru podwójnej zmiany pasa ruchu. Podczas badań autorzy stosowali i analizowali również inne manewry, których charakter nie był tak złożony. Spośród zastosowanych manewrów najlepiej odzwierciedlającym rzeczywiste warunki ruchu była – zdaniem autorów – podwójna zamiana pasa ruchu, która odpowiada manewrowi wyprzedzania lub omijania przeszkody. Duża zmienność przebiegów zarejestrowanych podczas tego manewru wymagała od autorów doboru odpowiedniej metody ich analizy.

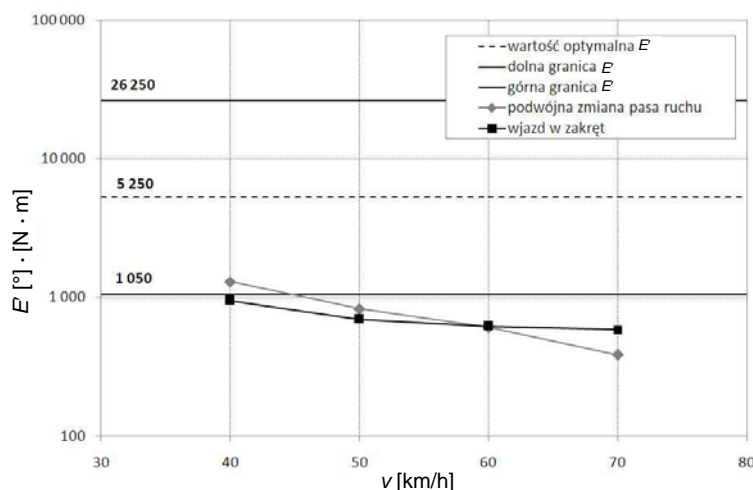
Poniżej przedstawiono przykładowe przebiegi pozostałych, istotnych z punktu widzenia odczucia kierowania, wielkości: prędkości odchylenia pojazdu i przyspieszenia poprzecznego. Zmiany wielkości przedstawionych na dwóch powyższych rysunkach, zachodzące podczas wykonywania manewrów, niewątpliwie wpływały na odczucie kierowania charakteryzujące układy kierownicze badanych pojazdów. Ze względu na dużą zmienność przebiegów wielkości ściśle związanych z wysiłkiem kierowania w funkcji czasu podczas analizy autorzy rozpatrywali przebiegi tych wielkości (M_{δ_H} , δ_H) w funkcji przyspieszenia poprzecznego.

Przeprowadzona przez autorów analiza zmian momentu obrotowego na kierownicy i kąta obrotu kierownicą w funkcji przyspieszenia poprzecznego wykazała duże zmiany kąta obrotu kierownicy w miarę zmian przyspieszenia poprzecznego i tym samym znaczący wpływ kąta obrotu kierownicy na wysiłek kierowania [5]. Zbadano, jak dla poszczególnych pojazdów zmieniał się wysiłek kierowania podczas wykonywania różnych manewrów w miarę wzrostu prędkości. Rozpatrywano przypadek, w którym układ kierowniczy pojazdu B miał wyłączone wspomaganie. W ten sposób układy kierownicze obydwu badanych pojazdów charakteryzowały się zbliżonym stanem wspomagania kierownicy (pojazd A nie posiadał wspomagania kierownicy, a wspomaganie kierownicy pojazdu B było nieaktywne). Umożliwiło to porównanie wyników badanych pojazdów. Otrzymane wyniki przedstawiono na rys. 4 i 5.



Rys. 4. Próbnianie wartości wysiłku kierowania przy różnych manewrach dla pojazdu A

Fig. 4. A comparison of steering effort values calculated for selected manoeuvres performed by vehicle A



Rys. 5. Prównanie wartości wysiłku kierowania przy różnych manewrach dla pojazdu B, wyniki badań eksperymentalnych

Fig. 5. A comparison of steering effort values calculated for selected manoeuvres performed by vehicle B

Zaobserwowano, że w miarę wzrostu prędkości wartość wysiłku kierowania malała. Dla danego pojazdu taka tendencja utrzymywała się w przypadku obydwóch manewrów. Uwzględniając przedział korzystnego wysiłku kierowania, można powiedzieć, że układ kierowniczy samochodu A zapewnia utrzymanie wysiłku kierowania w zalecanym, korzystnym zakresie, niezależnie od prędkości jazdy. Wartości wysiłku utrzymują się na poziomie zbliżonym do wartości stanowiącej dolną granicę przedziału korzystnego wysiłku kierowania.

Analiza wyników badań samochodu B wykazała, że wartość wysiłku kierowania tego pojazdu maleje wraz ze wzrostem prędkości oraz że wysiłek kierowania utrzymuje się na podobnym poziomie dla obydwu manewrów wykonywanych podczas badań. Niestety, mimo to że wspomaganie układu kierowniczego tego pojazdu było wyłączone, wartości wysiłku kierowania utrzymywały się na poziomie niższym od wartości określonej jako dolna granica korzystnego wysiłku kierowania. Uwzględniając przedział korzystnego wysiłku kierowania, można stwierdzić, że układ kierowniczy pojazdu B przy wyłączonym wspomaganie kierownicy był zbyt czuły i przez to niekorzystnie odbierany przez kierowcę.

Z badań przeprowadzonych przez autorów wynika, że przy włączonym wspomaganie układu kierowniczego wartości wysiłku kierowania pojazdu B są znacząco niższe w porównaniu do wartości wysiłku kierowania przy wyłączonym wspomaganie kierownicy, co było zgodne z przewidywaniami autorów.

5. Podsumowanie

Stosowana we współczesnych pojazdach regulacja wspomaganie układu kierowniczego może być niewystarczająca, szczególnie w pewnych ekstremalnych sytuacjach, jak jazda po krętej drodze z prędkością większą niż prędkość, przy której zostaje wyłączone wspo-

maganie. Niewłaściwie zaprojektowana regulacja wspomaganie wpływa na pogorszenie odczucia kierowania. Może powodować obniżenie bezpieczeństwa jazdy i wzrost niezadowolenia kierowcy.

W celu poprawienia odczucia kierowania przy projektowaniu regulacji wspomaganie układu kierowniczego wydaje się być słuszne uwzględnienie wpływu przyspieszenia poprzecznego. Wpływ ten mógłby być uwzględniony przez wykorzystanie wysiłku kierowania, ściśle związanego z przyspieszeniem poprzecznym pojazdu. Przy projektowaniu regulacji wykorzystującej wysiłek kierowania cennymi informacjami wydają się być: optymalna wartość wysiłku kierowania oraz przedział korzystnego wysiłku kierowania. Ich znajomość może ułatwić zaprojektowanie regulacji wspomaganie gwarantującej korzystne odczucie kierowania.

Przeprowadzona analiza wykazała, że wysiłek kierowania maleje wraz ze wzrostem prędkości. Stwierdzono również, że dla danego samochodu wartość wysiłku kierowania utrzymuje się na podobnym poziomie przy różnych manewrach ruchu.

Na podstawie analizy wysnuto wniosek, że regulacja wspomaganie układu kierowniczego uwzględniająca wysiłek kierowania umożliwiłaby utrzymanie wysiłku kierowania na stałym, korzystnym poziomie, niezależnie od warunków ruchu. Ustalenie optymalnej wartości wysiłku kierowania dla układów wspomaganie kierowcy współczesnych samochodów będzie wymagało przeprowadzenia badań dla większej liczby samochodów.

Literatura

- [1] Amberkar S., Kushion M., Eschtruth K., Bolourchi F., *Diagnostic Development for an Electric Power Steering System*, SAE Paper 2000-01-0819.
- [2] Badawy A., Zuraski J., Bolourchi F., Chandy A., *Modeling and Analysis of an Electric Power Steering System*, SAE Paper 1999-01-0399.
- [3] Bertollini G.P., Hogan R.M., *Applying Driving Simulation to Quantify Steering Effort Preference as a Function of Vehicle Speed*, SAE Paper 1999-01-0394.
- [4] Essma S., *Steering Effort Analysis of an Oval Racing Track Setup Champ Car*, Newman Haas Racing, International Adams User Conference, 2000.
- [5] Grzegożek W., Nogowczyk P., *Wysiłek kierowania jako kryterium oceny układów kierowniczych*, Zeszyty Naukowe Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce 2008.
- [6] Harrer M., Pfeffer P., *Modelling and Subjective/Objective Evaluation of Steering Feel*, Project, Department of Mechanical Engineering University of Bath, 2007.
- [7] Isomura A., Hara T., Kamiya K., *Human Factor on Driver's Steering Wheel Operation: Three Parameters Evaluating Characteristics of Driver's Steering Wheel Operations*, JSAE Review 16 (1995), 383-410.
- [8] Jaksch F.O., *Driver-Vehicle Interaction with Respect to Steering Controllability*, SAE Paper 790740.
- [9] Reimpell J., Betzler J., *Podwozia samochodów. Podstawy konstrukcji*, WKiŁ, Warszawa 2001.
- [10] Reinelt W. et al., *Active front Steering (Part 2): Safety and Functionality*, SAE Paper 2004-01-1101.