

GRZEGORZ ŚLASKI, HUBERT PIKOSZ*

BADANIA DROGOWE ZAPOTRZEBOWANIA ENERGII W CELU REALIZACJI SKRĘTU KÓŁ SAMOCHODU OSOBOWEGO

ROAD TESTS OF ENERGY DEMAND FOR TURNING OF STEERING WHEELS OF A PASSENGER CAR

Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki badań i analizy zapotrzebowania na energię mechaniczną w celu realizacji skrętu kół kierowanych dla samochodu osobowego w wybranych sytuacjach eksploatacji samochodu osobowego, dla typowej jazdy miejskiej oraz dla manewrowania na postoju, wskazując zakresy obciążeń i wymaganej mocy. Przedstawiono narzędzia i metodykę badań oraz analizę wyników. Porównano uzyskane wyniki z parametrami technicznymi typowych układów kierowniczych w tej grupie pojazdów i danymi z innych źródeł.

Słowa kluczowe: wspomaganie układu kierowniczego, energochłonność pracy układu kierowniczego, badania drogowe samochodu

Abstract

This paper presents results of measurements and analysis of mechanical energy demand to swivel steered road wheels of passenger car in different operating conditions – for typical city driving and for parking maneuvers at standstill. The range of power and energy demands are presented. The methodology and tools of research and results analysis are also presented. Obtained results are compared with technical specifications of typical steering systems in this vehicle segment and with data from other sources.

Keywords: power steering system, energy demand of steering system operation, passenger car road tests

* Dr inż. Grzegorz Ślaski, dr inż. Hubert Pikoś, Instytut Maszyn Roboczych i Pojazdów Samochodowych, Wydział Maszyn Roboczych i Transportu, Politechnika Poznańska.

1. Wstęp

Podczas projektowania współczesnych pojazdów dąży się do ograniczania ich wpływu na środowisko. Jednym z aspektów tego wpływu jest zużycie energii przez pojazd wynikające z pracy różnych jego mechanizmów. Najczęściej kojarzonym z odpowiedzialnością za zużycie energii jest układ napędowy, choć inne podukłady samochodu również korzystają z energii pochodzącej w samochodzie zwykle z przetworzenia energii chemicznej paliwa na energię mechaniczną, a następnie ewentualnie na elektryczną.

Duży postęp w oszczędności paliw nastąpił w obszarze przetwarzania energii paliwa na energię mechaniczną dzięki rozwojowi nowoczesnych silników i sposobów zaawansowanego sterowania procesem spalania paliw. Dalsze oszczędności próbuje się uzyskać w procesach wykorzystujących wytworzoną energię, poprawiając ich sprawność. Dotyczy to wielu aspektów pracy samochodu, np. pracy układu napędowego, oporów ruchu samochodu czy wykorzystania innych źródeł energii, takich jak energia zaoszczędzona podczas spowalniania samochodu, co prowadzi do rozwoju napędów hybrydowych pozwalających magazynować energię w różnych formach, m.in. w formie energii elektrycznej, która ze względu na łatwość sterowania jest najczęściej wykorzystywana.

Wśród różnych układów, które w samochodach wymagają zewnętrznych w stosunku do nich źródeł energii są układy, w których wprowadza się wspomaganie fizycznej pracy kierowcy oraz takie, które pracują niezależnie od kierowcy. Układami z pierwszej grupy są układy hamulcowe i kierownicze, z drugiej – różnego rodzaju układy osprzętu elektrycznego silnika i samochodu, a także te służące komfortowi, np. klimatyzacja, systemy multimedialne itd.

W podnoszeniu efektywności pracy tych układów można także poszukiwać źródeł oszczędności energii. Polegać to jednak musi zawsze na zachowaniu pełnej funkcjonalności przy jednoczesnej poprawie efektywności energetycznej.

W niniejszym artykule przedstawiono wyniki cząstkowych badań drogowych zapotrzebowania na energię w celu realizacji skrętu kół kierowanych samochodu osobowego na postoju i w jeździe miejskiej. Na ich podstawie wskazano obszary wskazujące potencjał oszczędności energii, które są współcześnie wykorzystywane w projektowaniu sterowanych elektronicznie systemów wspomaganie w układach kierowniczych.

2. Podstawy teoretyczne zapotrzebowania na energię w układzie kierowniczym

Zmiana kierunku jazdy pojazdu kołowego wymaga w ogólnym przypadku zmiany ustawienia kół kierowanych w stosunku do pojazdu, jak i podłoża. Zmiana ta związana z przemieszczeniem koła powoduje zapotrzebowanie na pewną pracę wynikającą z tego, że ruch koła względem podłoża i pojazdu związany jest z koniecznością pokonania sił wynikających z następujących procesów [6]:

- skrętu koła wokół jego pionowej osi,
- przetaczania koła wokół osi obrotu zwrotnicy,
- unoszenia przodu pojazdu na skutek zastosowania kąta pochylenia osi obrotu zwrotnicy.

Siły te będą wynikać z towarzyszących procesom sił tarcia, oporu toczenia czy też siły grawitacji.

W układach kierowniczych brakuje urządzeń wspomagających pokonanie tych sił. W efekcie potrzebna praca wykonywana jest całkowicie przez kierowcę. W miarę wzro-

stu masy pojazdów, tym samym obciążen kół kierowanych, wprowadzania opon o dużym przekroju poprzecznym, stwarzających zwiększone opory przy skręcaniu, wymagana praca zaczyna być trudna do realizacji w oparciu tylko o siłę mięśni kierowcy. Wzrastające opory skrętu kół wymagają coraz większych sił lub momentów uzyskiwanych na wyjściu przekładni kierowniczej. Można to uzyskać poprzez wzrost momentu przykładanego do koła kierownicy albo zwiększone przełożenie w przekładni kierowniczej. W pierwszym przypadku można zwiększać średnicę kierownicy lub wymagać zwiększonego wysiłku kierowcy (do pewnych granic). Z kolei zastosowanie zwiększonego przełożenia przekładni kierowniczej prowadzi do zmniejszenia prędkości skrętu koła kierowanego (co może powodować ograniczenie prędkości pojazdu podczas jazdy po krętych drogach) oraz zwiększa liczbę obrotów koła kierownicy potrzebnych do wykonania skrętu.

Aby zmniejszyć wysiłek kierowcy potrzebny do kierowania pojazdem i umożliwić szybkie i efektywne kierowanie, stosuje się urządzenia wspomagające. Wymagają one doprowadzenia do układu kierowniczego energii niezbędnej do wykonania pracy związanej z pokonywaniem oporów skręcania kół. Pochodzić ona musi ze źródła zewnętrznego, ale działania kierowcy są wtedy ograniczone tylko do odpowiedniego sterowania energią.

3. Badania eksperymentalne zapotrzebowania na energię w układzie kierowniczym

3.1. Obiekt badań i metoda pomiaru

Obiektem wykorzystanym do badań był przednionapędowy samochód osobowy klasy „compact” o masie równej 1530 kg i nacisku na przednią oś równemu 850 kg.

Badania drogowe obciążen układu kierowniczego wykonane zostały z wykorzystaniem pomiaru sił na drążkach poprzecznych układu kierowniczego samochodu osobowego oraz prędkości ruchu tych drążków. Pomiar zrealizowano z wykorzystaniem pomiaru odkształceń z zastosowaniem tensometrii oporowej i odpowiedniego układu tensometrów w celu eliminacji wpływu odkształceń giętych na wynik pomiaru.

Badania wykonano dla następujących przypadków pracy układu kierowniczego:

- manewrów parkingowych przy nieruchomym samochodzie na różnych nawierzchniach,
- manewrów podczas eksploatacji w ruchu miejskim.

3.2. Przetwarzanie sygnałów pomiarowych

Proces przetwarzania sygnałów pomiarowych w zakresie przeliczenia wielkości mierzonych bezpośrednio na wielkości fizyczne i realizacja wyznaczenia wielkości mierzonych zostały pośrednio zrealizowane w czasie rzeczywistym podczas pomiaru w systemie akwizycji danych.

Na podstawie iloczynu siły i prędkości wyznaczono moc konieczną w danych warunkach do realizacji skrętu kół. Do zapisania programu obsługującego akwizycję danych i realizującego on-line odpowiednie przekształcenia wykorzystano modelowanie z użyciem systemu Matlab/Simulink, programując odpowiednie zależności.

Do wyznaczenia chwilowych wartości mocy skorzystano z zależności:

$$P(i) = |v_{dr}(i)| \cdot (|F_1(i)| + |F_p(i)|) \quad (1)$$

gdzie:

- $P(i)$ – chwilowe zapotrzebowanie mocy dla układu kierowniczego,
- $F_l(i)$ – chwilowa wartość składowej równoległej do listwy zębatej siły mierzonej na drążku lewym,
- $F_p(i)$ – chwilowa wartość składowej równoległej do listwy zębatej siły mierzonej na drążku prawym,
- v_{dr} – chwilowa wartość prędkości listwy zębatej (wyznaczona na podstawie prędkości obrotowej wału kierownicy).

Wartości $F_l(i)$ oraz $F_p(i)$ obliczono uwzględniając zmienną wartość kąta ustawienia drążka lewego i prawego względem listwy zębatej w funkcji zmian kąta skrętu kół, co miało istotny wpływ na wartość siły przy kątach skrętu powyżej 20° (manewry na postoju). Natomiast w celu obliczenia zapotrzebowania energii dla analizowanego odcinka czasu eksploatacji wykorzystano zależność:

$$E = \sum_{i=1}^{i=n} (P(i) \cdot \Delta t) \quad (2)$$

gdzie:

- E – zapotrzebowanie energii dla analizowanego odcinka czasu eksploatacji,
- Δt – krok próbkowania,
- n – ilość próbek wykorzystanych w analizie.

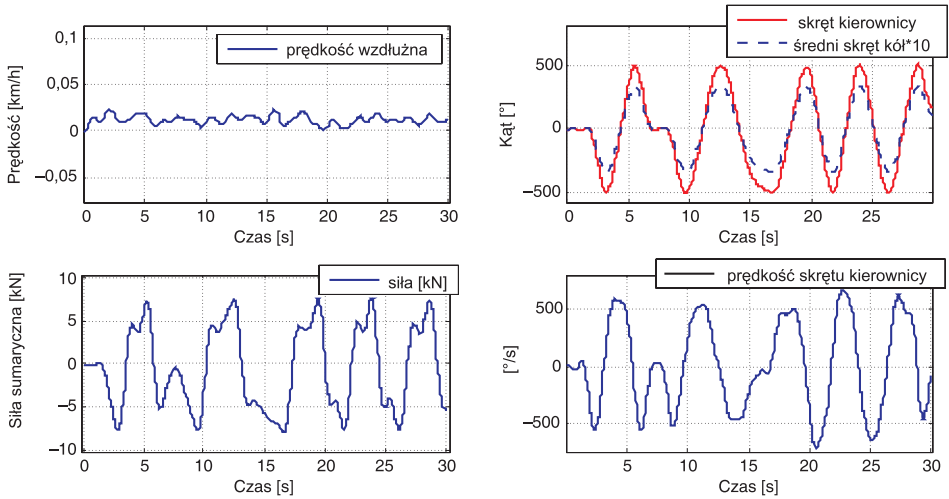
Aby zilustrować obciążenia układu kierowniczego zdefiniowano także wartość sumarycznej siły obciążającej drążki. Ze względu na to, że w czasie gdy jeden z drążków jest ściśnany, drugi rozciągany, siłę sumaryczną zdefiniowano jako różnicę pomiędzy siłą drążków lewego i prawego. W celu analizy zmienności kątów skrętu kół przyjęto wartość średniego kąta skrętu kół obliczoną na podstawie średniej wartości przełożenia kinematycznego pomiędzy kątem obrotu kierownicy i kół.

Na rysunkach 1 i 2 zaprezentowano przebieg zmian mierzonych parametrów dla dwóch przykładowych prób. W zestawieniu ujęto wykres zmian prędkości pojazdu, siły sumarycznej na drążkach poprzecznych układu kierowniczego oraz parametry kinematyczne – amplitudę kątów skrętu wraz z prędkościami skrętu koła kierownicy.

Rysunek 1 przedstawia parametry dla ekstremalnie szybkiego skrętu kół kierowanych podczas postoju pojazdu. Daje to obraz maksymalnego zapotrzebowania mocy w celu realizacji skrętu kół ze względu na fakt obciążenia go maksymalną siłą wynikającą ze skrętu kół, które się nie toczą oraz dużą prędkością realizacji skrętu. Maksymalne siły podczas tej próby osiągały wartość ok. 8000 N, natomiast maksymalne wartości średniego kąta skrętu kół kierowanych nie przekraczały 33° . Maksymalne prędkości skrętu koła kierownicy sięgały $700^\circ/\text{s}$.

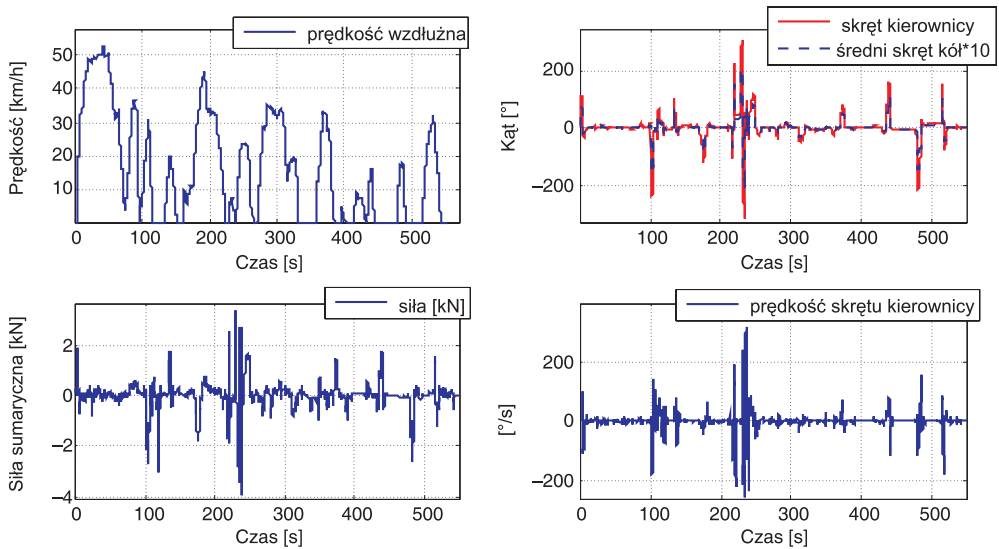
Rysunek 2 przedstawia przebieg tych samych parametrów zarejestrowanych podczas jazdy samochodu w ruchu miejskim w czasie trwania popołudniowego szczytu komunikacyjnego. W porównaniu z obciążeniami ekstremalnymi w pierwszej próbie widoczne jest znaczące ograniczenie maksymalnych wartości siły sumarycznej, która w tym przypadku nie przekraczała 3500 N, utrzymując się najczęściej poniżej poziomu 500 N.

Prędkość skrętu koła kierownicy osiągnęła maksymalnie w tej próbie $310^\circ/\text{s}$, w większości przypadków nie przekraczając $100^\circ/\text{s}$. Wartości kątów skrętu kół kierowanych były nie większe niż 20° .



Rys. 1. Parametry próby realizowanej podczas szybkiego skreću kierownicy na nawierzchni betonowej na postoju

Fig. 1. Parameters of the test performed during a rapid turn of the steering wheel on a concrete pavement in parking

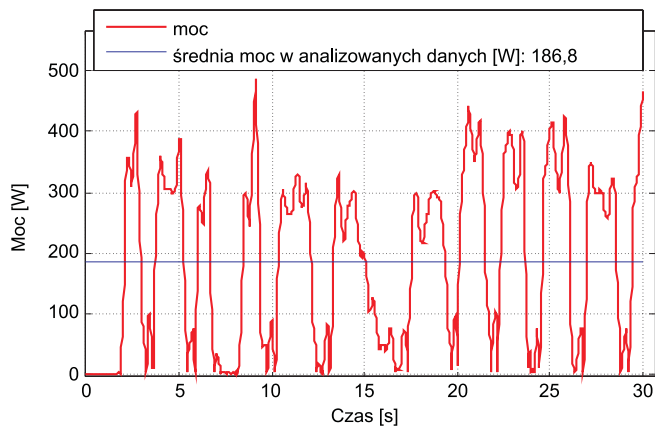


Rys. 2. Parametry próby realizowanej podczas jazdy w ruchu miejskim na terenie miasta Poznania na wilgotnej nawierzchni asfaltowej

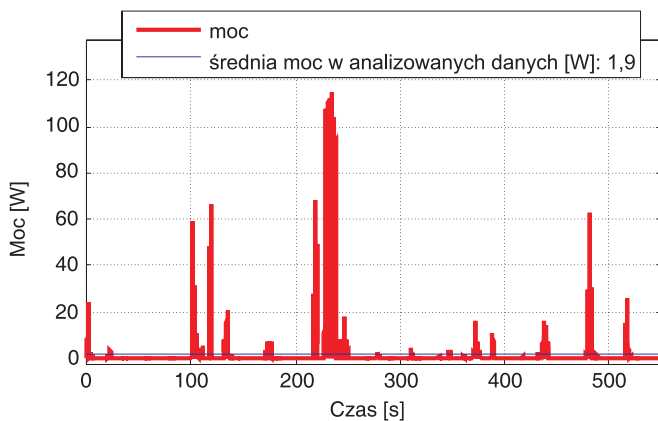
Fig. 2. Parameters of the test ride in urban traffic in the city of Poznań, on a wet asphalt pavement

Na rysunku 3 zestawiono porównanie zapotrzebowania na moc dla dwóch wcześniej opisanych przypadków obciążeń układu kierowniczego. Dla manewrów w trakcie postoju samochodu, przy dużej prędkości skrętu koła kierownicy, maksymalne wartości mocy sięgają 480 W, a wartość średnia to 187 W. Dla próby w trakcie postoju z maksymalną prędkością skrętu na poziomie 200°/s uzyskano maksymalne wartości zapotrzebowania mocy na poziomie 260 W.

a)



b)

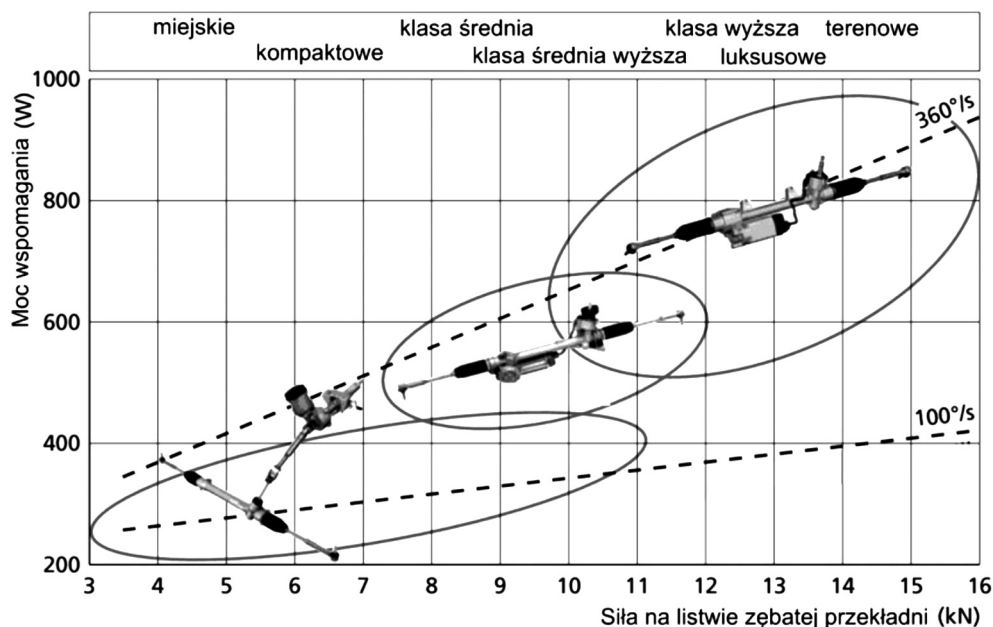


Rys. 3. Porównanie zapotrzebowania na moc dla prób skrętu kół na postoju wg parametrów: a) z rys.1, b) podczas jazdy miejskiej wg parametrów z rys. 2

Fig. 3. Comparison of demands for power for the tests of the wheels turning in parking according to the parameters: a) from Fig. 1 and b) during an urban ride according to the parameters from Fig. 2

Uzyskane wartości, przy założeniu, że jest to tylko zapotrzebowanie ze strony układu kierowniczego, bez strat urządzenia wspomagającego, mieszczą się w zakresie danych podawanych dla samochodów kompaktowych przez firmę ZF [7] (rys. 4), dla których wartości mocy urządzeń wspomagających mieszczą się w przedziale 400–500 W dla tej grupy pojazdów, a zakres maksymalnych sił w okolicach 8000 N.

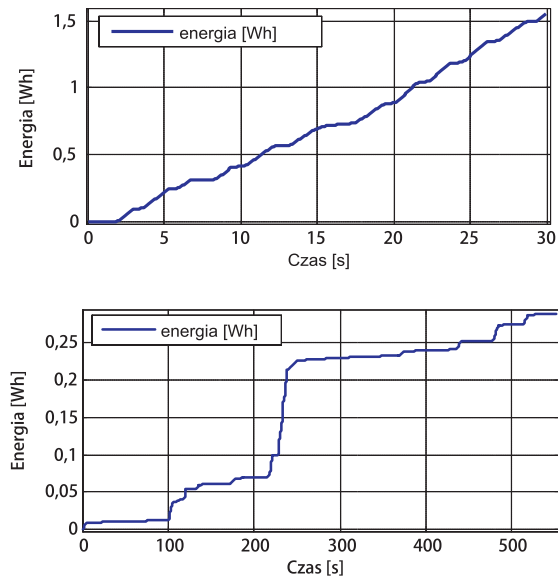
W przypadku jazdy miejskiej przeciętna wartość zapotrzebowania mocy wynosi około 2 W, a wartości maksymalne nie przekraczają 115 W. Dla skrótu kół na postoju wartości te wyniosły odpowiednio 187 W i 480 W. Szczególnie duża różnica dotyczy wartości średniej, co wynika z małego udziału czasu skrótu w ogólnym czasie próby w jeździe miejskiej.



Rys. 4. Przeciętne wartości mocy i sił przekładni kierowniczych zębatkowych ze wspomaganie elektrycznym (na podstawie [7])

Fig. 4. Average values of power and forces of electric power assisted steering toothed gears (based on [7])

Dla uzyskanych wyników przedstawić można oszacowane zapotrzebowanie energii dla analizowanych odcinków czasu. Wynik przedstawiono na rys. 5.



Rys. 5. Zużycie energii potrzebnej do obsłużenia układu kierowniczego w analizowanych próbach i odcinkach czasu

Fig. 5. Consumption of energy needed for operating the steering system in the analysed tests and intervals

Dokonując przeliczenia zapotrzebowania energii na godzinę jazdy w przypadku eksploatacji w ruchu miejskim, uzyskamy wartości, jak w tabeli 1.

Należy podkreślić, że jest to zapotrzebowanie na energię wynikające z sił koniecznych na danym odcinku czasu eksploatacji do realizacji skrętu kół. W związku z tym, że podczas jazdy prostoliniowej nie dochodzi do skrętu kół, to zapotrzebowanie na energię staje się zerowe. Wartość ta nie odpowiada jednak zużyciu energii przez urządzenia wspomagające układ kierowniczy, które jest znacznie wyższe i wynika ze strat związanych z jałową pracą urządzenia wspomagającego.

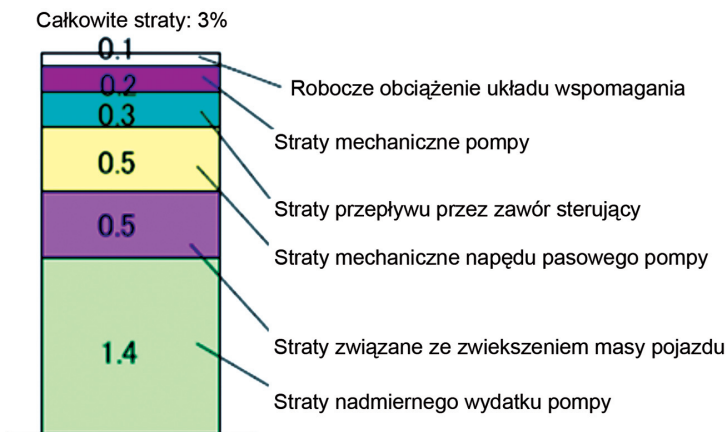
W celu wyraźnego rozróżnienia zapotrzebowania mocy i energii od faktycznego zapotrzebowania mocy zasilania urządzenia wspomagającego i zużycia energii warto zwrócić uwagę na kwestię strat energii w tradycyjnym hydraulicznym urządzeniu wspomagającym.

Badając szczegółowo pojazdy osobowe, ustalono, że zastosowanie hydraulicznie wspomagane układu kierowniczego podnosi przeciętnie zużycie paliwa o około 3% [4]. Dla całkowitych 3% strat na pracę urządzenia wspomagającego zaledwie 1/30 to zużycie energii wywołane obciążeniem wspomagania wynikającym z zapotrzebowania na energię przez układ kierowniczy. W przypadku elektrycznych urządzeń wspomagających straty te są znacznie niższe i wg [4] mogą wynosić zaledwie 6% strat tradycyjnych mechanizmów hydraulicznych. W pracy [4] dla standardowego japońskiego cyklu testu zużycia paliwa („10–15 mode”) podano wartość ok. 157 W dla wspomagania hydraulicznego i 8,5 W dla wspomagania elektrycznego. Wartości te należy traktować jako orientacyjne ze względu na brak precyzyjnego zdefiniowania warunków pracy układu kierowniczego.

Tabela 1

Wynik analizy zapotrzebowania na energię i moc dla analizowanych prób badawczych

Próba	Maksymalna siła	Moc maksymalna	Średnia moc	Zapotrzebowanie energii w czasie 300 sekund	Zapotrzebowanie energii w czasie 1 godziny
	[N]	[W]	[W]	[Wh]	[Wh]
Obrót szybki na betonie	8000	480	187	16	192
Obrót wolny na betonie	7000	125	32	3,3	39,6
Jazda w ruchu miejskim – 1	2200	38	0,7	0,065	0,78
Jazda w ruchu miejskim – 2	2200	43	0,8	0,08	0,96
Jazda w ruchu miejskim – 3	4000	115	1,9	0,23	2,76
Jazda w ruchu miejskim – 4	3200	68	1	0,11	1,32
Jazda w ruchu miejskim – 5	4600	180	1,9	0,12	1,44
Jazda w ruchu miejskim – 6	3800	85	0,6	0,005	0,06
Jazda w ruchu miejskim – 7	5800	220	2	0,21	2,52
Jazda w ruchu miejskim – 8	2800	48	1,1	0,09	1,08
Średnia dla prób podczas jazdy	3575	100	1,3	0,11	1,37



Rys. 6. Straty energetyczne konwencjonalnego hydraulicznego wspomagania układu kierowniczego – wartości podane w % zużycia paliwa (na podstawie [4])

Fig. 6. Losses of energy in a conventional hydraulic assistance system – values in % of fuel consumption (based on [4])

4. Analiza statystyczna przetworzonych sygnałów

Dla badanych wielkości zapotrzebowania mocy przeprowadzono analizę statystyczną w celu wyznaczenia częstości występowania danego zapotrzebowania na moc z uwzględnieniem prędkości jazdy, przy której ono wystąpiło.

W związku z tym, że kolejne próbki chwilowych wartości mocy odpowiadają kolejnym chwilom czasu można zilustrować częstość występowania danego zapotrzebowania na moc jako procentowy udział czasu występowania danej wielkości mocy w ogólnym czasie danej próby.

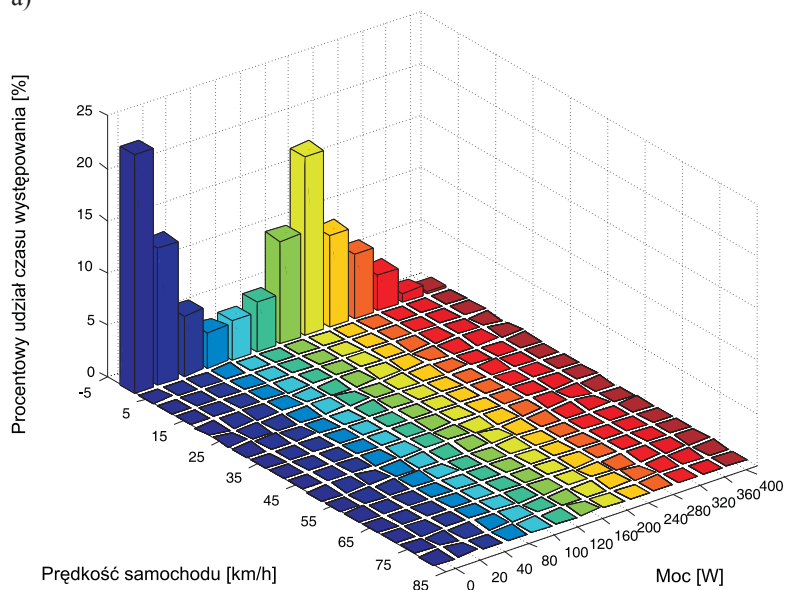
Do realizacji analizy statystycznej wykorzystano algorytm, który zapisano w procedurze programu Matlab. Realizuje on najpierw zliczenie liczby elementów w przedziałach klasowych mocy, a następnie w każdym z tych przedziałów zlicza liczbę elementów w przedziałach klasowych prędkości. Przyjęto podział na przedziały klasowe mocy, których granice wyznaczono kolejnymi wartościami chwilowej mocy zawartymi w wektorze wierszowym: [0 40 80 120 160 200 240 280 320 360 400 440 480 520].

Dla przedziałów klasowych prędkości wzdłużnej samochodu przyjęto granice zgodnie z wektorem wierszowym: [0 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55 60 65 70 75 80].

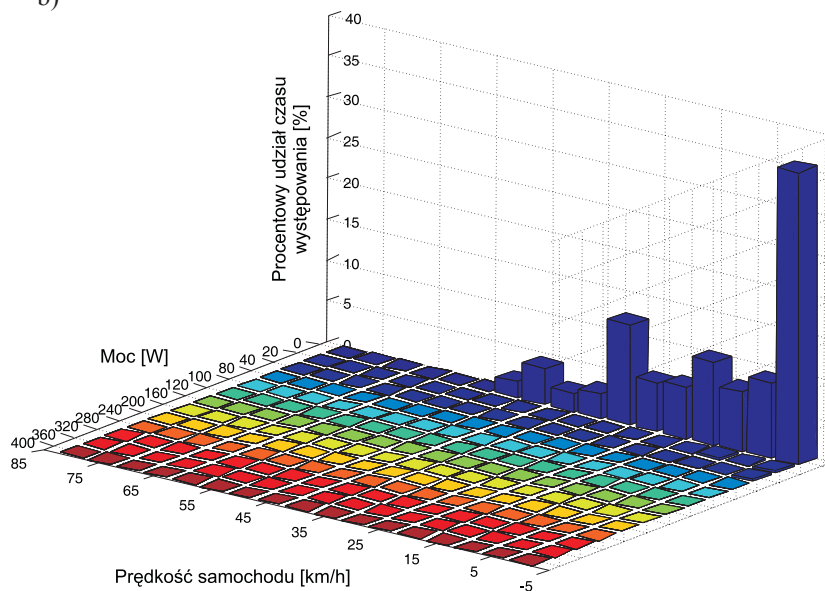
Po dokonaniu zliczenia ilości próbek dane zaprezentowano w postaci trójwymiarowych histogramów na rys. 7.

Wyniki przeprowadzonych analiz wskazują, że w większości czasu eksploatacji samochodu, nawet w ruchu miejskim, zapotrzebowanie na moc w celu realizacji skrętu kół kierowanych jest znikome. Dla analizowanej próby wartości większe niż 20 W pojawiły się w czasie nieprzekraczającym 1,5%.

a)



b)



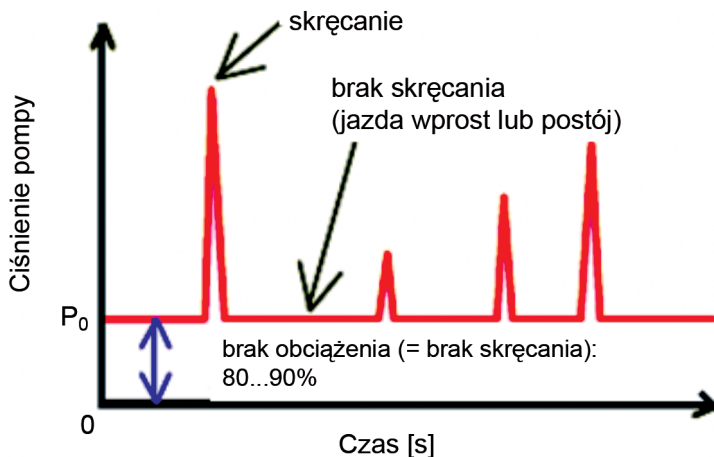
Rys. 7. Rozkład częstości występowania zapotrzebowania mocy i prędkości jazdy dla: a) prób skretna kół na postoju wg parametrów z rys.1, b) podczas jazdy miejskiej wg parametrów z rys. 2

Fig. 7. Distribution of occurring frequency of demand for power and driving speed for: a) tests of the wheels turning in parking according to the parameters from Fig. 1, b) during an urban ride according to the parameters from Fig. 2

5. Podsumowanie

W artykule przedstawiono wyniki szacunkowych badań zapotrzebowania na moc i energię przez układ kierowniczy w celu realizacji skrętu kół kierowanych w warunkach eksploatacji miejskiej i w sytuacji ekstremalnego zapotrzebowania na moc. Wyniki te wskazują, że wartości ekstremalne są wielokrotnie większe od wartości przeciętnych, co wiąże się z bardzo dużym udziałem czasu eksploatacji, w którym nie ma potrzeby skrętu kół kierowanych lub pojawia się ona przy wyższych prędkościach, przy których poziom zapotrzebowania mocy jest znacznie mniejszy niż dla przypadku ekstremalnego, jakim jest szybki skręt kół podczas postoju samochodu na przyczepnej nawierzchni.

Warto zwrócić uwagę na fakt, że układy kierownicze ze wspomaganiem hydraulicznym wyposażone w pompy o stałej wydajności projektowano tak, aby zapewniały wystarczającą siłę wspomaganie już przy prędkości obrotowej silnika równej biegowi jałowemu silnika. Ze względu na wykorzystanie układu hydraulicznego z zaworem centralnie otwartym w układzie występuje stały przepływ płynu, któremu towarzyszą straty przepływu. Ilustruje to rys. 8, zaczerpnięty z pracy [5], który przedstawia symbolicznie zmiany ciśnienia na pompie w trakcie eksploatacji (jazdy).



Rys. 8. Przeciętne warunki pracy układu wspomaganie (lub na podstawie [5])

Fig. 8. Average conditions of the assistance system operation (or based on [5])

W celu zmniejszenia strat pracy jałowej urządzeń wspomagających wprowadzono rozwiązania w postaci wspomaganie elektrohydraulicznego i elektrycznego [3]. Chociaż podczas pracy tych urządzeń mamy do czynienia z większymi stratami i mniejszymi sprawnościami wynikającymi z zamiany energii mechanicznej na elektryczną i z powrotem na mechaniczną [5], to fakt, iż w czasie braku zapotrzebowania na energię układy te nie pobierają takich ilości energii zasilania jak wspomaganie hydrauliczne powoduje, że sumarycznie uzyskuje się znaczące oszczędności sięgające kilkudziesięciu procent [4, 5].

Efektywność energetyczna mechanizmów wspomagających jest istotna ze względu na potrzebę zmniejszania zużycia energii przez pojazdy. Związane jest to z aspektami ekologicznymi, ale w przypadku pojazdów, w których stosuje się źródła energii o niewielkiej pojemności, np. w pojazdach o napędzie elektrycznym, każda strata energii ma znaczenie praktyczne w postaci ograniczenia stosunkowo niedużego zasięgu takiego pojazdu realizowanego w ramach jednego ładowania akumulatorów.

Dlatego zagadnienie zmniejszania zapotrzebowania na energię przez urządzenia wspomagające jest nadal aktualne i stanowi przedmiot wielu prac naukowych i konstrukcyjnych [1, 2, 5].

Literatura

- [1] Kemmetmüller W., Kugi A., Müller S., *Modeling and Nonlinear Control of an Electrohydraulic Closed-Center Power-Steering System*, Proceedings of the 44th IEEE Conference on Decision and Control, and the European Control Conference 2005, Seville.
- [2] Kozuma F., Arita T., Tsuda H., *Development of Energy Saving Power Steering*, Proceedings of the 6th JFPS International Symposium on Fluid Power, Tsukuba 2005.
- [3] Kuranowski A., Mirska-Świątek M., *Mechanizmy wspomagające w pojazdach samochodowych*, cz. 1, *Układy kierownicze*, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków 2002.
- [4] Miyazaki H., *Technical Trends in Steering Systems*, Proceedings of the 7th JFPS International Symposium on Fluid Power, Toyama 2008.
- [5] Röst M., *Hydraulic Power Steering System Design in Road Vehicles Analysis, Testing and Enhanced Functionality*, praca doktorska, Linköping University, Linköping 2007.
- [6] Szydelski Z., *Napęd i sterowanie hydrauliczne*, WKiŁ, Warszawa 1993.
- [7] ZF Servolectric®, *Electric Power Steering System for Passenger Cars and Light Commercial Vehicles*, <http://www.zf-lenksysteme.com/> (odczyt z marca 2011).