

Aleksander UBYSZ

ANALIZA WYNIKÓW OBLICZEŃ WSPÓŁCZYNNIKA OPORÓW TOCZENIA METODĄ WYBIEGU ZE STAŁĄ PRĘDKOŚCIĄ NA ZJEŹDZIE

Streszczenie. W pracy zestawiono wyniki obliczeń współczynnika oporów toczenia metodą wybiegu ze stałą prędkością zjazdu 132 samochodów osobowych w funkcji średnicy obręczy, wysokości i szerokości opony, marki samochodu i prędkości jazdy oraz porównano je z wynikami badań laboratoryjnych.

THE ANALYSIS OF THE RESULTS OF THE CALCULATING OF THE ROLLING RESISTANCE COEFFICIENT BY THE COASTING AT CONSTANT SPEED METHOD

Summary. The results of the calculations of the rolling resistance coefficient were presented in this paper. The calculations were carried out by the coasting at constant speed method for 132 cars. The dependence of values of the rolling resistance coefficient on diameter, width and height of tyre were shown. Moreover the results were compared to results received from laboratory test on rolls with rough surface.

1. WSTĘP

Jednym z najważniejszych wskaźników charakteryzujących samochody pod względem ich energooszczędności jest współczynnik oporów toczenia (WOT). Jego wielkość zależy w głównej mierze od budowy i wymiarów opony, rodzaju nawierzchni jezdni i warunków atmosferycznych, poziomu ciśnienia w oponie, luzu w łożyskach kół i ich stanu technicznego, prędkości jazdy. Najczęściej spotykane wartości współczynnika oporów toczenia f mierzone są w warunkach laboratoryjnych na specjalnym stanowisku o stałych oporach toczenia w łożyskach kół (koła) i w warunkach symulacji drogi za pomocą bębna o średnicy ok. 2 m [1, 2]. W tym przypadku wyliczony współczynnik jest współczynnikiem oporów toczenia samej opony i trudno go przełożyć na warunki rzeczywiste.

Natomiast metody obliczeń WOT kół określonego samochodu w warunkach drogowych (rzeczywistych) nastęrcza wiele trudności wynikających, przy wymaganej dokładności pomiarów, z odpowiedniego oprzyrządowania samochodu aparaturą pomiarową [3], gdyż w przeciwnym razie są mało dokładne [4]. Dlatego też z tego typu pomiarów dysponujemy niewielką ilością wyników, co z konieczności w statystycznym rozpatrywaniu tego współczynnika sięgamy do wyników pomiarów laboratoryjnych.

Dlatego przedstawiona w pracy [5] metodyka pomiarów i obliczania WOT kół jezdnych samochodu daje nadzieję na przełom w tej dziedzinie badań, jako że łatwość ich wykonania stwarza możliwości pomiarów i obliczeń na dużej populacji samochodów, pozwalających na

statystyczną obróbkę wyników. Poniżej na początek przedstawiono wstępną ocenę i analizę wyników obliczeń 132 samochodów osobowych różnych klas.

2. ANALIZA DOKŁADNOŚCI OBLICZEŃ

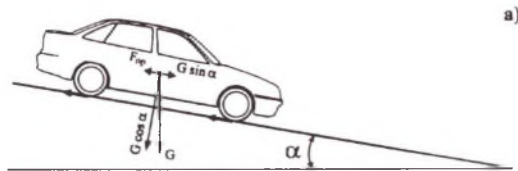
Ponieważ w czasie jazdy wybiegiem przy zjeździe drogą o określonym, odpowiednio długim spadku wyrażonym kątem α (patrz rys.1) siła napędowa jest równa zero, to z równania na siłę napędową, po przekształceniu, otrzymamy wzór obliczeniowy współczynnika oporów toczenia:

$$f = \operatorname{tg} \alpha - \frac{K (v_{sr} \pm w)^2}{m g \cos \alpha} - \frac{a}{g \cos \alpha} \quad (1)$$

gdzie:

- m - masa rzeczywista samochodu, kg,
- g- przyspieszenie ziemskie, $9,81 \text{ m/s}^2$,
- K- współczynnik oporów powietrza, kg/m.,
- v_{sr} - średnia prędkość samochodu na odcinku pomiarowym, m/s,
- w - składowa wzdłużna prędkości wiatru, m/s,
- a - przyspieszenie (opóźnienie) średnie na odcinku pomiarowym, m/s^2 ,
- α - wzdłużne (średnie) pochylenie odcinka drogi, $[\text{°}]$.

gdzie v_{sr} jest średnią arytmetyczną prędkości początkowej i końcowej na odcinku pomiarowym.



Rys.1. Rozkład sił działających na pojazd w czasie jazdy wybiegiem ze wzniesienia o określonym spadku [3]

Fig. 1. The resolution of the forces during the coasting on the hill with specific road grade

Na dokładność obliczeń WOT samochodu, który jest uśrednioną wartością dla wszystkich kół jezdnych, duży wpływ ma dokładność wyznaczenia kąta oraz określenie składowej wiatru na kierunku jazdy, faktycznie działającej na pojazd. Jak znaczny może mieć wpływ składowa wiatru i jaka jest dokładność pomiarów i obliczeń przedstawiono w tab. 1 dla samochodu Opel Astra 1,4 16V Kombi. Pomiar wykonano na dwu odcinkach pomiarowych, gdy wiał z pn. zmienny wiatr z prędkością 0-10 m/s (silnie rozbudowane cumulonimbusy), z których jeden był prostopadły do kierunku wiatru. Wartość średnia wiatru wynosiła 2 m/s (dane Zakładu IMiGW na lotnisku Muchowiec).

Tabela 1

Wyniki pomiarów współczynnika oporów toczenia samochodu Opel Astra 1,4 16 V Kombi na dwu odcinkach pomiarowych w dn.10.05.2001

Odcinek pomiarowy	Kierunek wiatru	Pomiar f		
		1.	2.	3.
Lotnisko	↔↓	0,0144	0,0143	-
Murckowska	↓↓	0,0097(w=0)	0,0128(w=2m/s)	0,0153(w=3m/s)

W dniu pomiarów na ul. Murckowskiej istniały dwa rodzaje zakłóceń składowej wiatru na kierunku jazdy. Pierwszy - to wspomniana zmienność siły wiatru. Drugi rodzaj wynika z faktu, że wiatr wieje zza góry, a więc można oczekiwać jego zaniku za wzniesieniem, co jest fałszem, na co wskazuje zestawienie wyników. Wyniki wskazują, że za wzniesieniem na pojazd w czasie przeprowadzonego pomiaru działała średnia składowa wiatru o sile ok. 2,35 m/s. Z przedstawionych wyników dla średniej prędkości wybiegu 100-115 km/h widoczny jest znaczny wpływ składowej wiatru „w” na wynik obliczeń. Stąd można wyciągnąć ważny wniosek, że pomiary należy prowadzić przy bezwietrznej pogodzie, a w przeciwnym razie należy sporządzić wykres wartości składowej wiatru na kierunku jazdy na badanym odcinku w czasie pomiarów, na podstawie którego będzie można określić jej wartość średnią.

Przy tego typu stanie chmur istnieje też trzeci rodzaj zakłóceń, wynikający ze zmienności kierunku wiatru pod chmurami.

3. OPRACOWANIE I ANALIZA WYNIKÓW

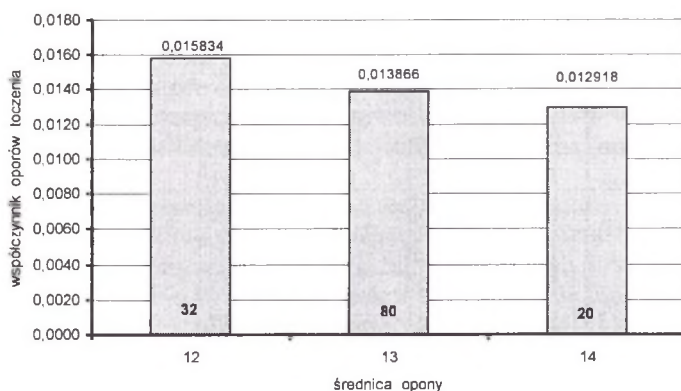
Zebrano wyniki pomiarów i obliczeń 132 samochodów osobowych, które poddano analizie pod kątem wpływu na współczynnik oporów toczenia średnicy koła, profilu opony (wysokości), szerokości, modelu samochodu i na koniec dla wybranego modelu prędkości jazdy.

Na rys.2 zestawiono współczynniki oporów toczenia kół samochodów osobowych w funkcji średnicy felgi. W pierwszej, 12-calowej grupie samochodów są samochody klasy najmniejszej, czyli Fiat 126p (24) i Daewoo Tico (8). W grupie 13-calowej jest większość samochodów osobowych, jako że w klasach A i B był to dotychczas najpopularniejszy rozmiar felgi (80 samochodów).

W grupie samochodów o największej średnicy felgi (14” – 20 aut) znalazły się samochody klasy C i niektóre klasy B.

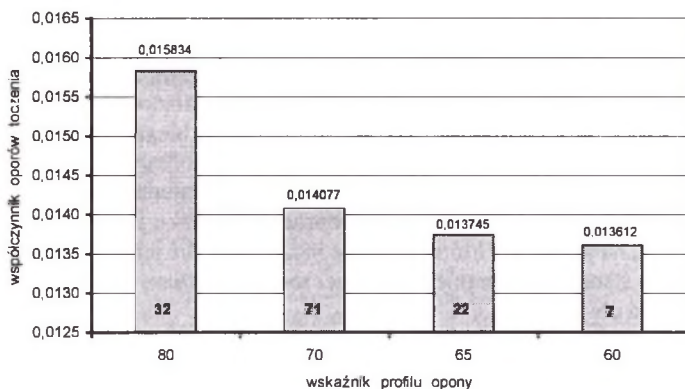
Jak wskazują wyniki obliczeń, ze wzrostem średnicy felgi (koła) znacznie obniża się współczynnik oporów toczenia kół samochodu od wartości 0,0158 do 0,0129: Jest to zgodne z teorią i praktyką, gdyż przy mniejszej średnicy koła bardziej odczuwane są nierówności drogi i wzrastają opory toczenia.

Na rys.3 zestawiono wyniki pomiarów w zależności od wysokości opony (profilu), która jako procentowy udział w szerokości opony wraz ze średnicą felgi daje wymiar średnicy geometrycznej koła.



Rys. 2. Zależność współczynnika oporów toczenia samochodu od średnicy felgi

Fig. 2. The rolling resistance coefficient vs. diameter of a tyre



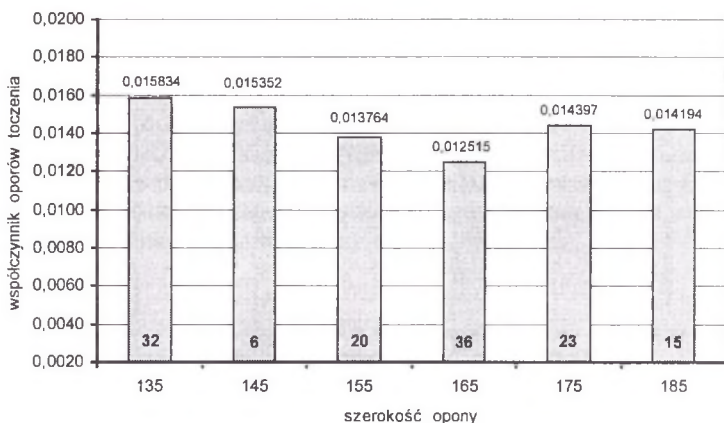
Rys. 3. Zależność współczynnika oporów toczenia samochodu od względnej wysokości opony
Fig. 3. The rolling resistance coefficient vs. relative height of a tyre

Oczywiście tzw. niskoprofilowe (60, 65%) opony częściej są stosowane w samochodach większych, o większej średnicy koła, jako że w kołach o małej średnicy stosowanie opon niskoprofilowych jest niewskazane ze względu na bezpieczeństwo jazdy, jak np. w samochodzie Fiat Cinquecento (łatwiej uszkodzić felgę i oponę na nierówności drogi).

W grupie samochodów o największym profilu (80%) znalazły się „Maluchy” i Daewoo Tico. Pomimo małej szerokości tych kół (wysokość prawie równa szerokości) to ze względu na małą średnicę koła te mają zdecydowanie najwyższy współczynnik toczenia, natomiast niskoprofilowe opony samochodów klas wyższych, przy równocześnie największej średnicy kół 14” szeregują je w przedziale najniższego współczynnika oporów toczenia ($f = 0,0136$).

Ciekawie przedstawia się charakterystyka współczynnika oporów toczenia w funkcji szerokości opony, pokazana na rys.4. Widoczne na rysunku minimum oporów toczenia wskazuje na szerokość 165 mm opony jako optymalną z punktu widzenia oporów toczenia samochodu.

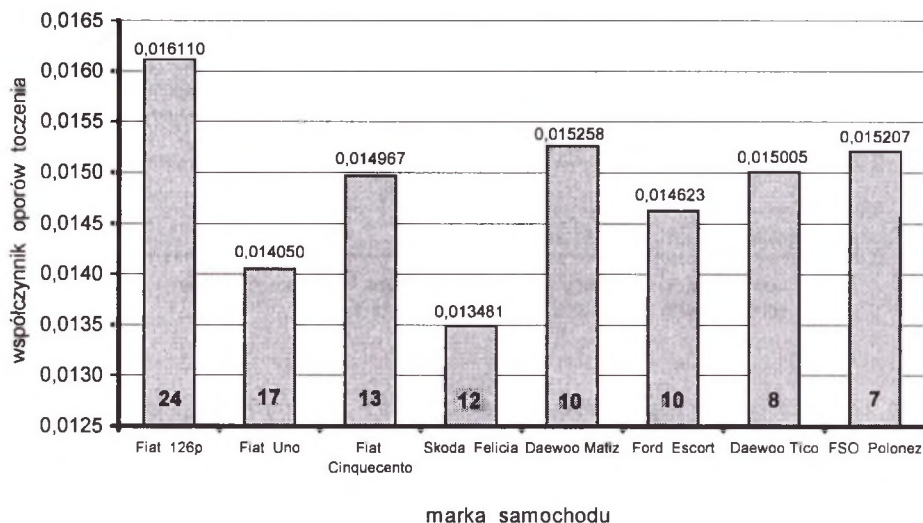
Nieprzypadkowo w tej grupie znalazło się najwięcej (36) samochodów osobowych, co świadczy o dużej popularności tej klasy szerokości opony.



Rys. 4. Zależność współczynnika oporów toczenia od szerokości opony dla wybranej populacji samochodów osobowych

Fig. 4. The rolling resistance coefficient vs. width of a tyre

Na rys. 5 zestawiono wyniki pomiarów i obliczeń współczynnika oporów toczenia wg modeli samochodów poszczególnych marek. Rozpatrywano tylko te modele, dla których dysponowano co najmniej 7 wynikami obliczeń. Na wykresie wyraźnie widoczny jest wysoki współczynnik oporów toczenia Fiata 126p (0,0161) i zaskakująco niski współczynnik oporów toczenia Skody Felicji (0,0135) i Fiata Uno (0,014). Oczywiście są samochody klasy wyższej niż przedstawione na rysunku o znacznie niższym f , ale ze względu na pojedyncze pomiary w zestawieniu ich nie ujęto. Do samochodów o najniższym współczynniku oporów toczenia należą: Ford Focus (0,0128).

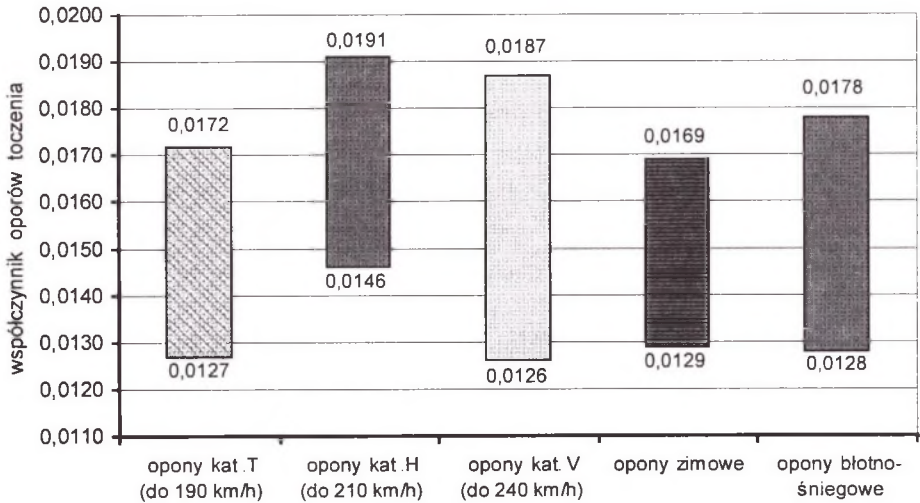


Rys. 5. Charakterystyka współczynnika oporów toczenia w zależności od marki samochodu
Fig. 5. The rolling resistance coefficient for various cars

Na zakończenie poddano analizie wyniki pomiarów f tego samego modelu samochodu dla dwu różnych prędkości jazdy wybiegiem, charakterystycznym dla obu odcinków pomiarowych. Jak wskazują wyniki obliczeń statystycznych, dla wyższej prędkości jazdy na ulicy Murckowskiej ($v_{sr} = 108,4$ km/h) współczynnik oporów toczenia dla rozpatrywanej marki samochodu osobowego jest średnio o 0,0007 wyższy niż dla niższej prędkości wybiegu ($v = 49,...$ km/h). Tak więc zauważalny jest w przeprowadzonych badaniach wpływ wzrostu prędkości jazdy w omawianym przedziale na współczynnik oporów toczenia, zgodny z badaniami laboratoryjnymi [2].

Na zakończenie pracy zestawiono obszernie wyniki badań Katedry Pojazdów i Maszyn Roboczych Pol. Gdańskiej, której pracownicy zajmują się tym zagadnieniem od wielu lat [4, 5]. W nich współczynnik oporu toczenia opon definiowany jest jako stosunek dwu sił: oporu toczenia F do nacisku na koło N . Dla współczesnych opon wartość tego współczynnika zawiera się w granicach 0,009 – 0,013. Z przeprowadzonych ze Szwedzkim Instytutem Dróg i Ruchu Drogowego na 100 oponach rozmiaru 195/65 R15 badań wynika, że wskazany zakres współczynnika f odpowiada nawierzchni gładkiej bębna maszyny bieżnej (Safety Walk), natomiast dla nawierzchni szorstkiej GRB-R (powierzchniowe utrwalenie o kruszywie 8/12 mm, jak w nawierzchniach asfaltowych) wyniki pomiarów są znacznie wyższe, w przedziale 0,0127- 0,0186 dla prędkości 80 km/h, co pokazuje rys.6.

Na podstawie badań stwierdzono, że dla typowego samochodu osobowego średnie zmniejszenie oporów toczenia o 10% powoduje spadek zużycia paliwa o około 3%.



Rys. 6. Zakres zmienności współczynnika oporów toczenia w poszczególnych grupach opon dla prędkości 80 km/h na nawierzchni szorstkiej

Fig. 6. The range of values of the rolling resistance coefficient for various types of tyres at speed 80 km/h on road with rough surface

4. WNIOSKI

Na podstawie otrzymanych wyników obliczeń i ich analizy można wyciągnąć następujące wnioski:

1. Nowo opracowana metoda obliczania współczynnika oporów toczenia, metodą wybiegu ze stałą prędkością na geodezyjnie, o odpowiedniej długości opracowanym zjeździe, daje bardzo dobrą powtarzalność wyników pomiarów, przy czym znaczny wpływ na dokładność ich obliczeń ma sposób określenia składowej wiatru na kierunku jazdy.
2. Otrzymane wyniki obliczeń 132 samochodów osobowych wskazują właściwy wpływ na współczynnik oporów toczenia takich parametrów, jak wymiary koła i opony (średnica obręczy, wysokość i szerokość opony), prędkość jazdy i rodzaj nawierzchni drogi (szorstka, gładka).
3. Otrzymane wyniki obliczeń współczynnika oporów toczenia dotyczą samochodu jako całości, a tym samym określają jego średnią wartość dla każdego z kół (opory opony i łożysk kół) przy jeździe z określoną prędkością w warunkach rzeczywistych.

Literatura

1. Mitschke M.: Dynamika samochodu. Napęd i hamowanie. WKŁ, Warszawa 1987.
2. Taryma S., Mioduszewski P.: Budowa opony a jej opór toczenia. Teka Komisji Naukowo-Problemovej Motoryzacji nt.: Konstrukcja, badania, eksploatacja, technologia pojazdów samochodowych i silników, z. 20, Kraków 2000.
3. Siłka W., Hetmańczyk I.: Estymacja parametrów modelu energetycznego samochodu na podstawie próby wybiegu. Teka jw. z.21, Kraków 2000.
4. Praca zbiorowa. Informator motoryzacyjny. Bosch 1986.
5. Ubysz A.: Teoretyczne aspekty wyznaczania współczynnika oporów toczenia metodą wybiegu ze stałą prędkością. Zeszyty Naukowe Pol. Śląskiej seria Transport, z. 43, Gliwice 2001 (w druku).
6. Taryma S., Wilga M.: Opona samochodowa a środowisko. III Ogólnopolska Konferencja Naukowo- Techniczna nt: Pojazd a Środowisko. Jedlnia-Letnisko 5-6 czerwca 2001.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Stanisław Jarnuszkiewicz

Abstract

The results of the calculations of the rolling resistance coefficient were presented in this paper. The calculations were carried out by the coasting at constant speed method for 132 cars. The dependence of values of the rolling resistance coefficient on diameter, width and height of tyre were shown. Moreover the results were compared to results received from laboratory test on rolls with rough surface.

The results of our calculations show that the rolling resistance coefficient depends on diameter and height of tyre significantly. They also indicate that the optimal range of width of tyre exist, in which the values of the rolling resistance coefficient were lowest. The results received from the calculations were convergent with results received from laboratory test.