Wpływ kierowcy na opór toczenia samochodu

Stanisław Taryma, Ryszard Woźniak

W pracy omówiono wpływ zachowań kierowcy na opory toczenia pojazdu w ruchu drogowym. Można tu wyróżnić styl jazdy kierowcy oraz jego dbałość o pojazd. Przedstawiono wzrost oporu toczenia w aspekcie dynamicznego przyspieszania oraz szybkiej jazdy na zakręcie. Przeanalizowano także wpływ na opór toczenia takich czynników jak: ciśnienie w ogumieniu i obciążenie promieniowe, zbieżność kół jezdnych samochodu oraz zużycie ogumienia.

Słowa kluczowe: kierowca, opory toczenia, pojazd, styl jazdy

Wstęp

Kierowca pojazdu bezpośrednio decyduje o takich czynnikach, wpływających na opory toczenia pojazdu, jak:

- prędkość jazdy,
- przyśpieszenie przy rozpędzaniu,
- ciśnienie w ogumieniu,
- obciążenie pionowe kół jezdnych,
- niewłaściwy kąt pochylenia kół,
- niewłaściwa zbieżność kół,
- zużycie bieżnika opony.

W pracy przeanalizowano wpływ wymienionych czynników na opory toczenia pojazdu w ruchu drogowym. W badaniach wykorzystywano opony opisane w Tabeli 1, toczące się po nawierzchniach, których skrócone nazwy symboliczne wyjaśniono w Tabeli 2. W trzeciej kolumnie tej tabeli podano średnią głębokość profilu każdej nawierzchni MPD [mm].

Tabela 1. *Opis opon używanych w eksperymentach*

Symbol	Rozmiar	Indeks	Bieżnik	Producent	Kod opony
SRTT	P225/60R16	97S	TIGER PAW M+S	UNIROYAL	ASTM1
SRTT	P225/60R16	97S	TIGER PAW M+S	UNIROYAL	T-1077
AAV4	195R14C	106/104N	SUPERVAN AV4	AVON	T-1063
MCPR 2013	225/60R16	98 V	Energy Saver	MICHELIN	T-1064
28NLR	205/55R16	94V	WINTRAC EXTREME	VREDESTEIN	T-1070
	195/65R15	91H	ECOCONTROL HP	FULDA	T-1123
	195/65R15	88H	ALL SEASON EXPERT	UNIROYAL	T-1152

1. Prędkość jazdy pojazdu

Prędkość jazdy jest parametrem mało wpływającym na opór toczenia. Przykładowe, reprezentatywne wyniki pomiarów współczynnika oporu toczenia w funkcji prędkości dla trzech opon różnych producentów przedstawiono na rys. 1. Badania przeprowadzono na stanowisku bębnowym na nawierzchni DAC16 przy obciążeniu pionowym $Q = 0{,}8Q_{max}$ i ciśnieniu w ogumieniu p = 210 kPa. Q_{max} jest to obciążenie maksymalne opony. Wyniki pomiarów zredukowano do temperatury otoczenia t = 25°C. Z rysunku widać, że dla opon ASTM1 i T-1070 współczynnik oporu toczenia jest stały w funkcji prędkości jazdy. Natomiast opona T-1064 w przebadanym zakresie prędkości toczenia wykazywała malejący współczynnik oporu toczenia. Oponę tę przebadano na czterech pozostałych nawierzchniach i wyniki przedstawiono na rys. 2. Na wszystkich pięciu nawierzchniach opona ta charakteryzowała się malejącym współczynnikiem oporu toczenia w funkcji prędkości. Można przypuszczać, że powodem zmniejszania się współczynnika oporu toczenia opony ze wzrostem prędkości toczenia jest spadek strat histerezy ze wzrostem temperatury mieszanki gumowej bieżnika [1]. Wzrost prędkości powoduje, przyrost temperatury opony, co skutkuje spadkiem składowej histerezy. Spadek ten jest większy od wzrostu strat histerezy spowodowanych przyrostem częstotliwości odkształceń wynikających z prędkości jazdy.

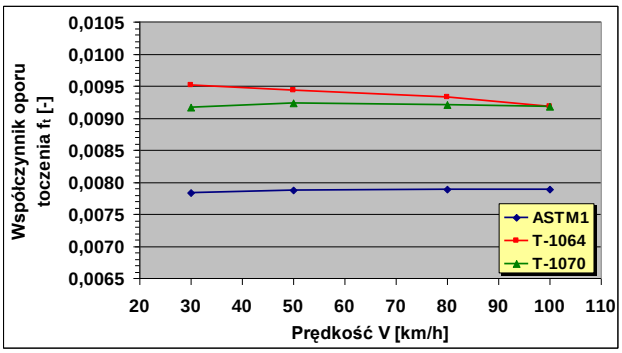
Tabela 2. *Opis nawierzchni wykorzystanych w eksperymentach*

Nawierzchnia	Nazwa	MPD (mm)
Replika: powierzchniowe utrwalenie 8/10mm	APS4r1.7	4,75
Nawierzchnia poroelastyczna	PERSr1.7	1,53
Replika: gęsty beton asfaltowy	DAC16r2.0	1,33
Replika: nawierzchnia referencyjna ISO	ISOr2.0	1,06
Replika: mastyks grysowy	SMA8r2.0	1,31
Safety Walk o ziarnistości 80	SWr2.0	0,84

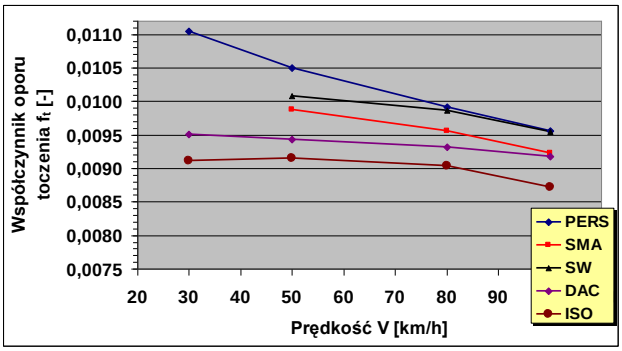
Na zależność oporu toczenia od prędkości wpływa także stopień wypełnienia rzeźby bieżnika opony. Opona z gładkim bieżnikiem charakteryzowała się zmniejszającym się współczynnikiem oporu toczenia w funkcji prędkości. Po nacięciu rzeźby bieżnika na tej oponie współczynnik oporu toczenia zwiększał się w miarę wzrostu prędkości jazdy. Przedstawiono to w pracy [2]. Dla większości jednak przebadanych opon współczynnik oporu toczenia nie zmieniał się ze wzrostem prędkości. Dotyczy to zarówno nawierzchni gładkich, jak i szorstkich.

2. Ciśnienie w ogumieniu i jego obciążenie promieniowe

Jednym z warunków prawidłowej eksploatacji opon pneumatycznych jest utrzymywanie właściwej wartości ciśnienia w ich wnętrzu. Ciśnienie to musi być dostosowane do obciążenia opo-

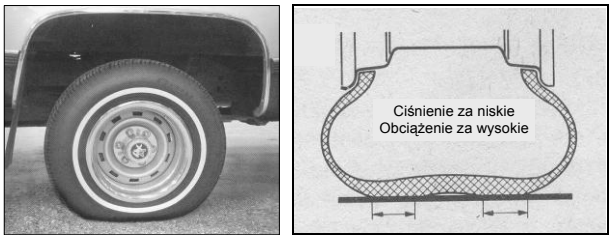


Rys. 1. *Zależność oporu toczenia opony od prędkości na nawierzchni DAC dla trzech opon*

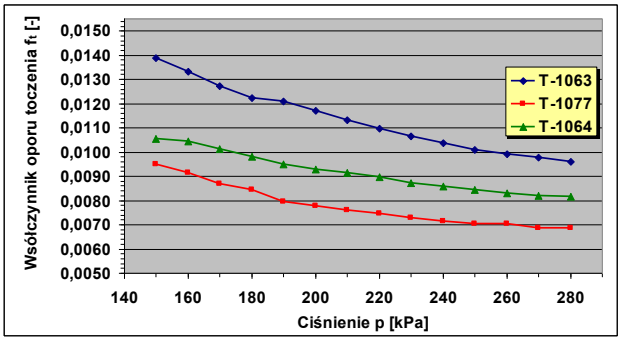


Rys.2. *Zależność oporu toczenia opony T-1064 na sześciu nawierzchniach*

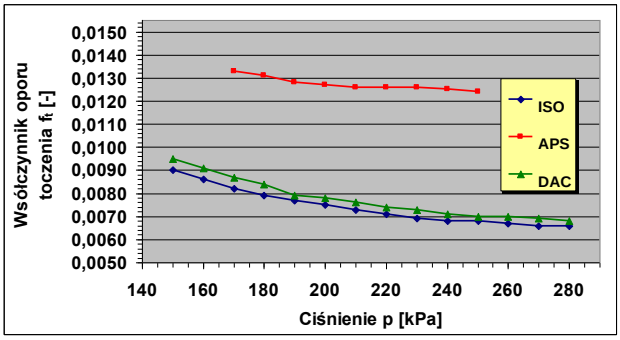
ny tak, aby zużycie bieżnika następowało równomiernie na całej jego szerokości. Na rys. 3 przedstawiono współpracę opony z nawierzchnią przy zbyt niskim ciśnieniu w stosunku do obciążenia opony. Znaczną część obciążenia przejmują ścianki boczne opony powodując wzrost nacisków w obszarach bocznych powierzchni interakcji opony z nawierzchnią i w wyniku tego następuje nierównomierne zużycie bieżnika opony. Boczne pasy obwodowe bieżnika zużywają się intensywniej niż pas środkowy. W celu określenia, wpływu ciśnienia panującego w oponie na wartość współczynnika oporu toczenia, przebadano 3 opony, których opis zamieszczono w tabeli 1. Na rys. 4 przedstawiono zależność współczynnika oporu toczenia od ciśnienia w ogumieniu dla tych trzech opon przy prędkości V = 80 km/h i obciążeniu Q = 4002N na nawierzchni DAC natomiast na rys. 5 pokazano zależność współczynnika oporu toczenia od ciśnienia dla opony T-1077 na trzech nawierzchniach przy prędkości V = 80 km/h i obciążeniu Q = 4002N. Analizując powyższe zależności można zauważyć, że współczynnik oporu toczenia rośnie wraz ze spadkiem ciśnienia w ogumieniu. Spadek ciśnienia o 60 kPa (z 270 kPa na 210 kPa) powoduje wzrost współczynnika oporu toczenia średnio o 11,5%. Taki sam spadek ciśnienia z 210 kPa do 150 kPa powoduje już wzrost współczynnika oporu toczenia średnio o 17% dla trzech przebadanych opon. Zależność współczynnika oporu toczenia dwóch opon od obciążenia na dwóch nawierzchniach przy prędkości V = 80 km/h i ciśnieniu p = 210 kPa przedstawia rys. 6. Obie opony na nawierzchni APS wykazują spadek oporu toczenia a na nawierzchni ISO jego wzrost wraz ze wzrostem obciążenia pionowego opony.



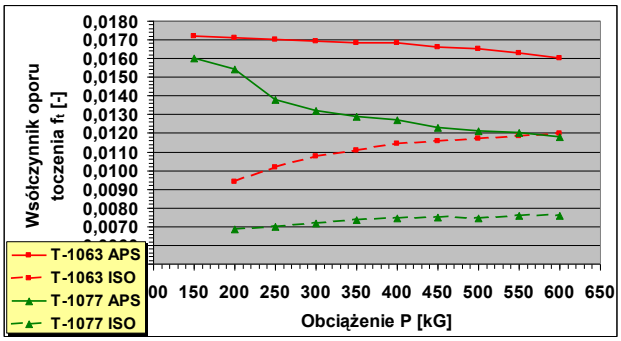
Rys.3. *Współpraca opony z nawierzchnią przy zbyt niskim ciśnieniu*



Rys. 4. *Zależność współczynnika oporu toczenia od ciśnienia w ogumieniu dla trzech opon przy prędkości V=80 km/h i obciążeniu Q=4002 N na nawierzchni DAC*



Rys. 5. *Zależność współczynnika oporu toczenia od ciśnienia opony T-1077 na trzech nawierzchniach przy prędkości V=80 km/h i obciążeniu Q=4002 N*



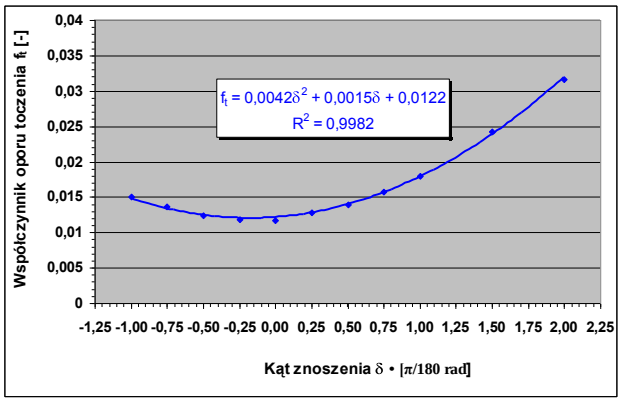
Rys. 6. *Zależność współczynnika oporu toczenia dwóch opon od obciążenia na dwóch nawierzchniach przy prędkości V=80 km/h i ciśnieniu p=210 kPa*

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Przeprowadzono także badania sumarycznego wpływu ciśnienia i obciążenia opony na opór toczenia. Wyniki pomiarów przedstawiono w pracy [3]. Opór toczenia maleje przy jednoczesnym proporcjonalnym wzroście ciśnienia i obciążenia opony. Analizując powyższe wyniki można przypuszczać, że straty histerezy, mające dominujący udział w całkowitym oporze toczenia, są większe przy niższym ciśnieniu i mniejszym obciążeniu, niż przy ciśnieniu wyższym i równocześnie większym obciążeniu.

3. Siły styczne w śladzie współpracy opony z jezdnią

Na skutek działania poprzecznych sił stycznych w śladzie styku opony z jezdnią toczenie się tego koła następuje z pewnym kątem znoszenia. Zwykle kąt ten występuje podczas jazdy na zakręcie, ale może się pojawić w przypadku niewłaściwego ustawienia kół jezdnych samochodu (nieprawidłowo wyregulowanej zbieżność kół). Okazuje się, że małe kąty znoszenia wynoszące 1÷2,0° (odchyłka kąta zbieżności w stosunku do wartości nominalnej) mogą powodować znaczne przyrosty oporu toczenia. Badania wpływu kąta znoszenia na opór toczenia wykonano dla opony o rozmiarach 175/70 R 13. Wyniki pomiarów są przedstawione na rys. 7. Wzrost kąta znoszenia od 0 do 2,0° powoduje wzrost współczynnika oporu toczenia o 0,02 co odpowiada wzrostowi względnemu o 170%. Przyczyn tego zjawiska należy upatrywać we wzroście odkształcenia opony. Odkształcenie boczne opony sumujące się z ugięciem pionowym, powoduje wzrost strat histerezy. W oponie obciążonej siłą boczną znacznie wzrasta poślizg boczny elementów bieżnika na powierzchni interakcji opony z nawierzchnią, powodujący straty tarcia wywołujące także wzrost oporu toczenia. Wzrost wzdłużnych sił stycznych spowodowany przyłożeniem momentu napędowego na koła podczas dynamicznej jazdy powoduje także wzrost oporu toczenia.



Rys. 7. *Zależność współczynnika oporu toczenia od kąta znoszenia opony*

4. Zużycie opony

Opór toczenia, jakim charakteryzuje się każda opona, zmienia się w czasie jej eksploatacji, gdyż wraz ze zużywaniem i ścieraniem się opony zmienia się głębokość rzeźby bieżnika, masa opony a także jej średnica zewnętrzna. Starzenie mieszanki gumowej bieżnika objawia się zwiększeniem twardości czoła bieżnika. Na podstawie pracy [4] można stwierdzić, że na nawierzchni gładkiej SW średni spadek współczynnika oporu toczenia na skutek 76%-owego zużycia wynosi około 15%, a na nawierzchni szorstkiej APS około 12%. Mniejsza głębokość rzeźby bieżnika powoduje równocześnie pogorszenie się innych właściwości opony, takich jak: przyczepność na mokro oraz odporność na aquaplaning i dlatego takie opony ze względów bezpieczeństwa należy jak najszybciej wymienić na nowe pomimo poprawy ich własności ekonomicznych.

5. Pochylenie koła

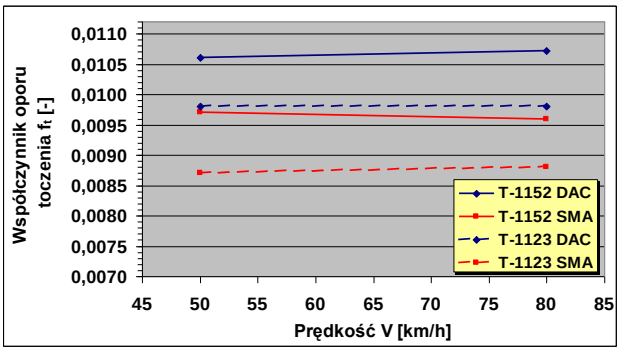
Pochylenie koła powoduje zwiększone odkształcenie toczącej się opony pociągające za sobą zwiększenie oporu toczenia. Wpływ kąta pochylenia koła na opór toczenia omówiono w pracy [5]. Na gładkiej nawierzchni SW opony charakteryzują się 3%-owym przyrostem oporu toczenia na 1° wzrostu kąta pochylenia koła. Na nawierzchni szorstkiej APS wzrost oporu toczenia jest mniejszy i wynosi do 1% /1° wzrostu kąta pochylenia koła.

6. Oznaczanie oporu toczenia opony na jej etykiecie

Od 01.11.2012 roku wszystkie nowe opony sprzedawane w Unii Europejskiej są etykietowane. Etykietę taką pokazano na rys. 8. Na etykiecie są trzy pola, na których oznaczone są własności ekonomiczne opony czyli opór toczenia, przyczepność na mokrej nawierzchni oraz poziom hałasu zewnętrznego. Opór toczenia ma wpływ na zużycie paliwa. Im mniejszy, tym samochód zużywa mniej benzyny i emituje mniej dwutlenku węgla. Pod względem oporu toczenia opony mogą być klasyfikowane w segmentach od „G" do „A" przy czym „A" oznacza najniższy opór toczenia a „G" – najwyższy. Na rys. 9 przedstawiono zależność współczynnika oporu toczenia od prędkości opony T-1152 klasyfikowanej w segmencie „F" pod względem oporu toczenia i opony T-1123 klasyfikowanej w segmencie „C" poruszających się na dwóch nawierzchniach: DAC i SMA. Różnica w oporze toczenia tych opon na nawierzchni DAC wynosi 8,4% a na nawierzchni SMA 11,2%.

Rys.8. *Etykieta na nowych oponach [6]*

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl



Rys.9. *Zależność współczynnika oporu toczenia od prędkości opony T-1152 klasyfikowanej w segmencie „F" i opony T-1123 klasyfikowanej w segmencie „C" pod względem oporu toczenia na dwóch nawierzchniach przy prędkości V = 80 km/h, ciśnieniu p = 210 kPa i obciążeniu Q = 4002N*

Podsumowanie

To kierowca zwykle decyduje o prędkości kierowanego przez siebie pojazdu. Prędkość jazdy dla współczesnych opon nieznacznie wpływa na opór toczenia poruszającego się samochodu. Prędkość jazdy samochodu jest natomiast ważna podczas poruszania się po torze krzywoliniowym. Jazda na zakręcie z prędkością powodującą tylko dwustopniowe kąty znoszenia opon powoduje już wzrost oporu toczenia pojazdu o około 170%. Kierowca podczas dynamicznego przyśpieszania poprzez przyłożenie dużych sił napędowych na koła powoduje także zwiększenie oporu toczenia pojazdu mające wpływ na powiększone zużycie paliwa.

Wzrost oporu toczenia samochodu może wynikać z zaniedbań kierowcy np.: jazda z nieprawidłowo ustawioną zbieżnością kół pojazdu prowadzi do przyrostu oporu toczenia pojazdu o około 170% przy dwu stopniowej odchyłce zbieżności kół pojazdu. Jednostopniowa odchyłka kąta pochylenia koła może powodować wzrost oporu toczenia od 1% co 3% w zależności od nawierzchni. Gdy kierowca zaniedbuje sprawdzanie wartości ciśnienia w ogumieniu swojego pojazdu i w rezultacie nie uzupełnia go, doprowadza to do eksploatacji opon ze zbyt niskim ciśnieniem. Spadek ciśnienia w ogumieniu o 60 kPa powoduje powiększenie oporu toczenia samochodu o 11,5 – 17%, co z kolei pociąga za sobą zwiększenie zużycia paliwa. Powoduje to również powiększone zużycie opon w bocznych obszarach bieżnika. Drugi niekorzystny przypadek może wystąpić, gdy kierowca lub dysponent samochodu pozwala na użytkowanie pojazdu obciążonego ładunkiem większym od dopuszczalnej ładowności o 2,5 kN na poszczególne koła pojazdu to na pewnych nawierzchniach może powodować wzrost oporu toczenia do około 9%. W ten sposób kierowca wpływa na powiększenie zużycia paliwa przez użytkowany samochód.

Kierowca kupując nowe opony do samochodu może wybrać droższe opony klasyfikowane np.: w segmencie „C" pod względem oporu toczenia zamiast tańszych opon klasyfikowanych w segmencie „F". Może to spowodować spadek oporu toczenia od 8,4% do 11,2%. Eksperci Goodyear przekonują, że w przypadku samochodów na oponach klasyfikowanych w segmentach „G" albo „A", różnica w zużyciu paliwa może wynieść aż 7,5 procent [6]. Na podstawie badań przeprowadzonych w Norwegii [1] stwierdzono, że dla typowego samochodu osobowego średniej wielkości poruszającego się w "Nowym Cyklu Europejskim" [2] zmniejszenie oporu toczenia o 10% powoduje spadek zużycia paliwa o 3%.

Bibliografia

1. Bang J. R.: Influence of Tire Rolling Resistance on Fuel Comsumption, Bang Consult, Norway, 1999.
2. Siłka W.: Energochłonność ruchu samochodu, Warszawa, WKŁ , 1997.
3. Taryma S.: „Analiza wpływu czynników eksploatacyjnych na opór toczenia opony", Czasopismo Techniczne Mechanika, Pojazdy Samochodowe, T.2, Zeszyt 7M/2004, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków 2004.
4. Taryma S., Woźniak R.: Wpływ zużycia opony na jej opór toczenia, Autobusy Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe. 6/2014.
5. Taryma S., Woźniak R.: Wpływ kąta pochylenia koła na opór toczenia opon samochodowych, Autobusy Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe. 6/2015.
6. https://mf.ppstatic.pl/art/b3/ko/6g0p/7e0osw8s8wwss04o/opona etykieta ragiomoto.1200.jpg dostęp 23.03.2017

Autorzy:

Dr hab. inż. **Stanisław Taryma,** prof. nadzw. PG – Politechnika Gdańska Wydział Mechaniczny,

Dr inż. **Ryszard Woźniak** – Politechnika Gdańska Wydział Mechaniczny.

Driver influence on car rolling resistance

In this paper the influence of driver's behavior on vehicle rolling resistance has been discussed. It has been mentioned: driver driving style and driver's care of his car. The increase of rolling resistance has been shown in terms of dynamic acceleration and fast cornering. The influence on rolling resistance of such parameters as: tire pressure, radial load, tow-in of vehicle wheels and tyre wear were also analyzed.

Key words: driver, rolling resistances, vehicle, driving style.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl