

Badanie oporu toczenia opon do samochodów osobowych na różnych nawierzchniach

STANISŁAW TARYMA, RYSZARD WOŹNIAK

Politechnika Gdańska Wydział Mechaniczny

W artykule zaprezentowano wyniki badań oporu toczenia opon. Zastosowano laboratoryjną, bębnową metodykę badań zgodną z normą ISO. Badaniom poddano trzy opony do samochodów osobowych na czterech różnych nawierzchniach: stali, nawierzchni Safety Walk, prototypowej nawierzchni poroelastycznej oraz bardzo szorstkiej nawierzchni APS-4. Najmniejsze wartości współczynnika oporu toczenia otrzymano na nawierzchni stalowej. Na nawierzchni Safety Walk zaobserwowano niewielki wzrost wartości tego współczynnika. Średni wzrost wartości współczynnika oporu toczenia zaobserwowano na nawierzchni poroelastycznej, a największy wzrost wartości tego współczynnika odnotowano na nawierzchni APS-4. Nawierzchnia stalowa oraz nawierzchnia Safety Walk, które są nawierzchniami referencyjnymi dla pomiarów oporu toczenia opon nie dają takich samych wyników pomiarów. Nawierzchnia stalowa (nie występująca w praktyce) ma tendencję do zwiększania różnic pomiędzy oponami. Nawierzchnie szorstkie (występujące w praktyce) mają tendencję do zmniejszania różnic pomiędzy oponami.

1. Wstęp

W krajach Unii Europejskiej transport samochodowy zużywa 85% energii pochłanianej przez wszystkie rodzaje transportu [1]. W roku 2003 światowa produkcja samochodów osobowych osiągnęła poziom 42 mln sztuk, a samochodów ciężarowych 18,6 mln sztuk [2]. Przy tak wielkiej liczbie pojazdów poprawa efektywności ich pracy zaledwie o ułamek procenta daje już wymierne efekty. W koncernach samochodowych i w instytutach badawczych prowadzone są intensywne prace związane ze zmniejszeniem zużycia paliwa przez pojazd samochodowy. Do głównych kierunków w tej dziedzinie można zaliczyć [1]:

- zwiększenie sprawności silnika spalinowego lub zastosowanie napędów niekonwencjonalnych o większej sprawności,
- zmniejszenie masy samochodu,
- zmniejszenie oporów aerodynamicznych samochodu,
- zmniejszenie oporu toczenia.

Opór toczenia jest jednym z czynników decydujących o energochłonności ruchu pojazdu samochodowego. Z badań przeprowadzonych w Norwegii [3] wynika, że dla

typowego samochodu osobowego poruszającego się według „Nowego Cyklu Europejskiego” zmniejszenie oporu toczenia tego samochodu o 10% powoduje spadek zużycia paliwa o 3%. Opór toczenia samochodu determinowany jest oporem toczenia pojedynczego koła ogumionego. Zmniejszenie oporu toczenia można uzyskać na drodze doskonalenia konstrukcji i technologii produkcji opon oraz przez ulepszanie nawierzchni drogowych.

Warunkiem prowadzenia tego typu prac jest posiadanie wiarygodnego oprzyrządowania oraz metodyk badawczych służących do pomiarów oporu toczenia. W Katedrze Pojazdów i Maszyn Roboczych Politechniki Gdańskiej znajduje się intensywnie wykorzystywane stanowisko laboratoryjne służące do badań oporu toczenia opon do samochodów osobowych i dostawczych na różnych nawierzchniach.

2. Nawierzchnie badawcze

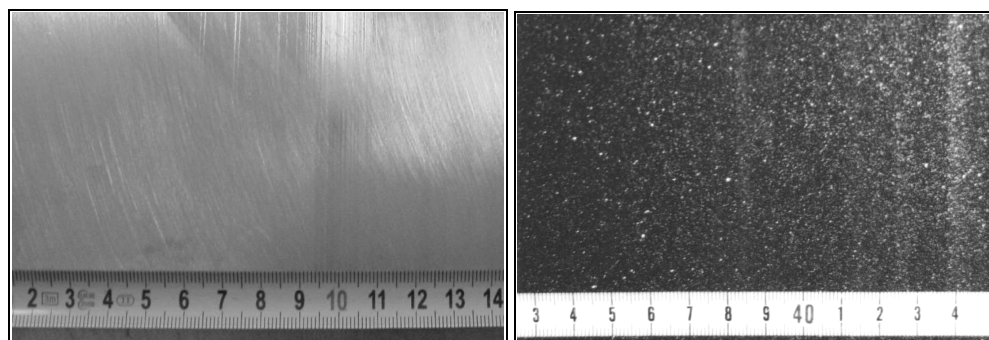
Norma ISO dotycząca laboratoryjnych badań oporu toczenia opon do samochodów osobowych [4] określa, że standardową nawierzchnią do tego typu badań powinna być gładka nawierzchnia stalowa lub nawierzchnia szorstka o głębokości nierówności 180 μm zwana popularnie Safety Walk (SW80). Nawierzchnie te są uznawane za standardowe w badaniach oporu toczenia opon. Oprócz tego w Katedrze Pojazdów i Maszyn Roboczych Politechniki Gdańskiej stosowano do porównań jeszcze dwie nawierzchnie testowe. Pierwsza z nich to nawierzchnia bardzo szorstka oznaczana w skrócie APS-4. Jest to nawierzchnia o podłożu bitumicznym, w które wwalcowany jest grys o średnicy ziarna około 12 mm. Druga z nich to prototypowa nawierzchnia poroelastyczna. Wykonana jest ona z granulatu uzyskanego ze zużytych opon samochodowych. Granulat ten jest łączony spoiwem poliuretanowym. Dzięki swej porowatości i elastyczności nawierzchnia ta znacznie redukuje hałas opon, szczególnie opon kolcowanych. Nawierzchnie tego typu (poroelastyczne) mają również lepsze właściwości samooczyszczające w stosunku do porowatych nawierzchni sztywnych. Podstawowe problemy związane z tą nawierzchnią to: mała przyczepność w stanie mokrym, palność oraz trudności w połączeniu jej z podłożem drogi. Wszystkie wymienione powyżej nawierzchnie przedstawiono na rysunku 1.

3. Badane opony

Badaniom oporu toczenia na czterech wymienionych wyżej nawierzchniach poddano trzy opony o specyfikacji podanej w tabeli 1. Zdjęcie przebadanych opon ukazujące wzory ich bieżników przedstawiono na rysunku 2. Wybrane do badań opony posiadały drogową rzeźbę bieżnika. Opona KH-06 posiadała kierunkowy, symetryczny wzór bieżnika, a opony NK-03 oraz KH-06 asymetryczny wzór bieżnika.

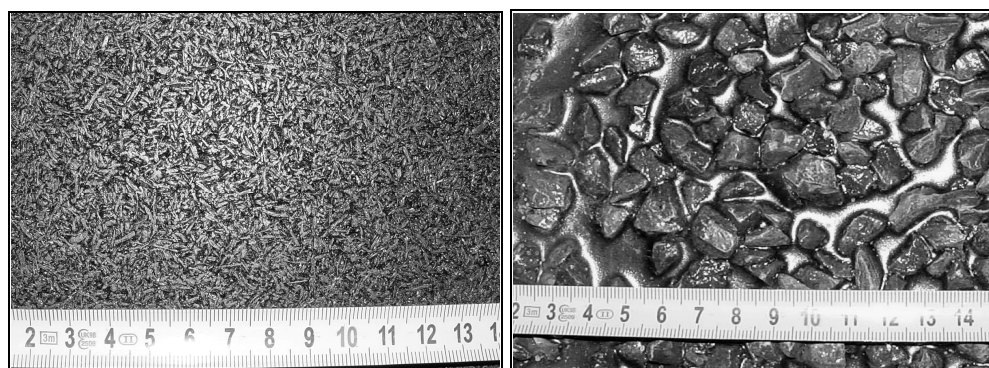
Tabela 1. Opony poddane badaniom.
Table 1. Test tyres.

Symbol	Rozmiar	Indeks	Bieżnik	Producent	Data produkcji
NK-03	195/65R15	95V	NRVi	Nokian	1303
KH-06	195/65R15	91T	NRT2	Nokian	3603
KH-09	225/45R17	94V	NRVi	Nokian	-



a)

b)



c)

d)

Rys. 1. Nawierzchnie badawcze:

a) nawierzchnia stalowa, b) Safety Walk (SW80), c) nawierzchnia poroelastyczna, d) APS-4.

Fig. 1. Test surfaces:

a) steel surface, b) Safety Walk (SW80), c) poroelastic surface, d) APS-4.



Rys. 2. Opony poddane badaniom (od lewej): NK-03, KH-09 i KH-06.

Fig. 2. Test tyres (from the left side): NK-03, KH-09 and KH-06.

4. Warunki badań

Obciążenie promieniowe badanych opon wynosiło 80% maksymalnego obciążenia (zgodnie z normą ISO [4]). Ciśnienie pompowania utrzymywane podczas badań było równe ciśnieniu odpowiadającemu maksymalnemu obciążeniu promieniowemu danej opony pomniejszonemu o 30 kPa [4]. Szczegółowe wartości obciążenia promieniowego i ciśnienia wewnętrznego dla poszczególnych opon podano w tabeli 2.

Tabela 2. Obciążenie promieniowe oraz ciśnienie wewnętrzne dla poszczególnych opon.

Table 2. Radial load and internal pressure for test tyres.

Opona	Obciążenie promieniowe [N]	Ciśnienie wewnętrzne [kPa]
NK-03	5420	320
KH-06	4831	270
KH-09	5253	320

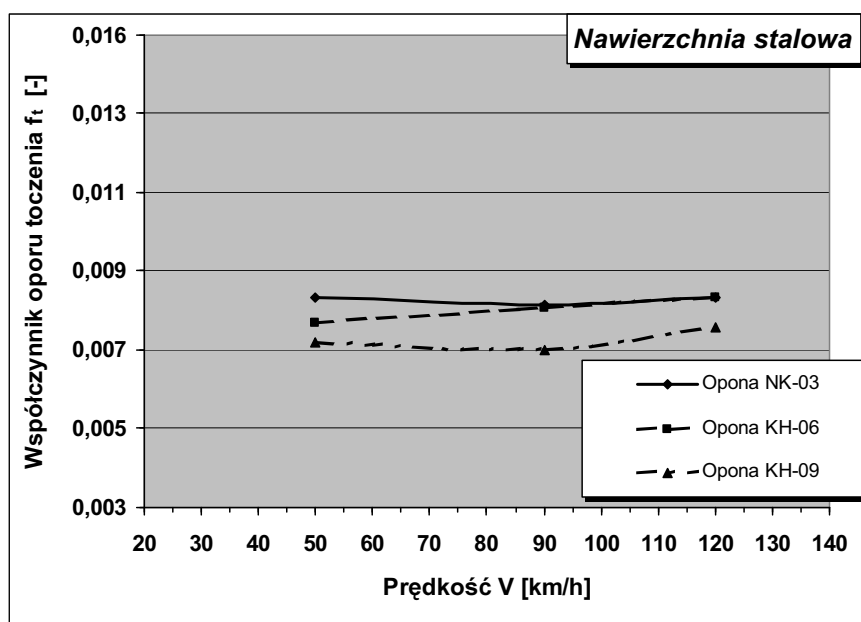
W trakcie badań utrzymywane było ciśnienie wewnętrzne w oponach podane w tabeli 2. Prędkości toczenia opon wynosiły: 50, 90 i 120 km/h.

5. Wyniki badań

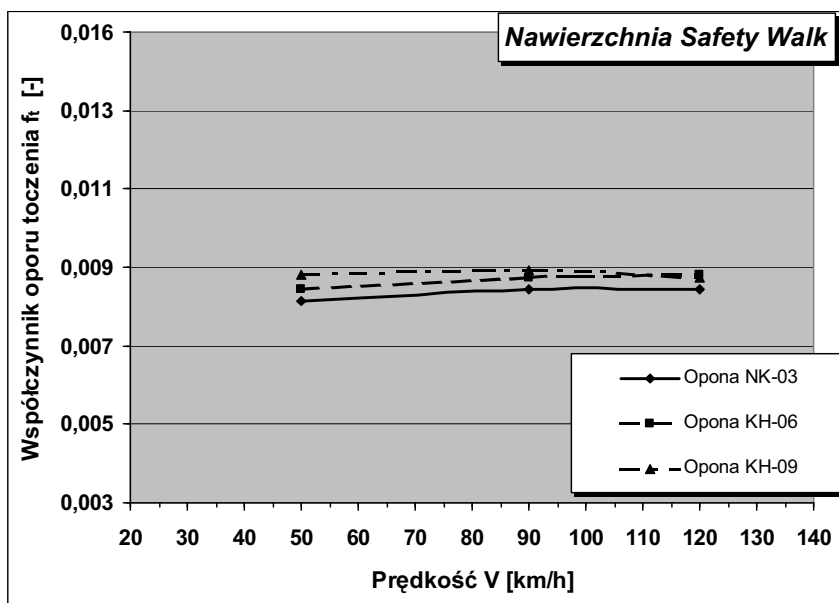
Wyniki badań przedstawiono w postaci przebiegu wartości współczynnika oporu toczenia f_t w funkcji prędkości toczenia opony na rysunkach 3 - 6 (porządkując wyniki badań pod względem rodzaju nawierzchni) oraz na rysunkach 7 - 9 (porządkując wyniki ze względu na poszczególne opony).

Najmniejsze wartości współczynnika oporu toczenia zaobserwowano na nawierzchni gładkiej, stalowej. Wyższe wartości tego współczynnika obserwowano na nawierzchni Safety Walk. Jeszcze większy wzrost zmierzono dla nawierzchni poroelastycznej. Największymi wartościami współczynnika oporu toczenia charakteryzowała się nawierzchnia bardzo szorstka APS-4. Wyjątek stanowiła opona NK-03, która przejawiała praktycznie takie same opory toczenia na nawierzchni stalowej i Safety Walk (rys. 7). Jak wspomniano wcześniej, pierwszą rekomendowaną nawierzchnią do pomiarów oporu toczenia według normy ISO [4] jest nawierzchnia stalowa. Procentowe przyrosty współczynnika oporu toczenia względem tej nawierzchni umieszczono w tabeli 3. Wynika z niej, że dla opony NK-03 jej współczynnik oporu toczenia f_t na nawierzchni stalowej i Safety Walk był praktycznie taki sam (średni przyrost o 0,8%). Natomiast dla opon KH-06 i KH-09 zanotowano średnio 8,1% i 22% przyrostu współczynnika oporu toczenia na nawierzchni Safety Walk względem nawierzchni stalowej. Przyrosty te dla nawierzchni poroelastycznej są większe i wynoszą średnio: dla opony NK-03 25%, dla opony KH-06 17,8%, a dla opony KH-9 30,5%. Największe, średnie przyrosty zaobserwowano dla nawierzchni APS-4: dla opony NK-03 60,2%, dla opony KH-06 64,3% i dla opony KH-09 aż 87,3%.

Drugą według normy ISO [4] standardową nawierzchnią do pomiarów oporu toczenia jest nawierzchnia Safety Walk. Procentowe przyrosty współczynnika oporu toczenia f_t względem tej nawierzchni pokazano w tabeli 4.

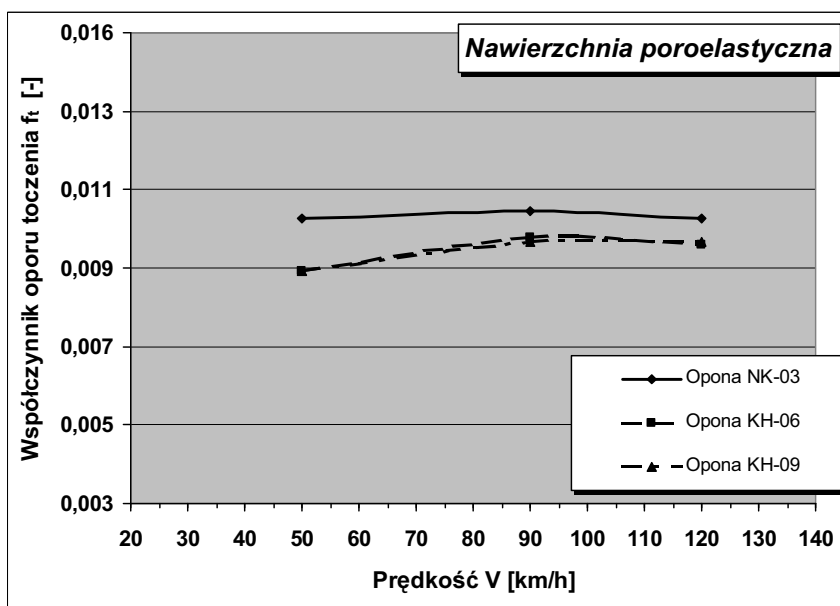


Rys. 3. Współczynnik oporu toczenia f_t na nawierzchni stalowej w funkcji prędkości toczenia opony.
Fig. 3. Rolling resistance coefficient f_t on steel surface as a function of tyre speed.



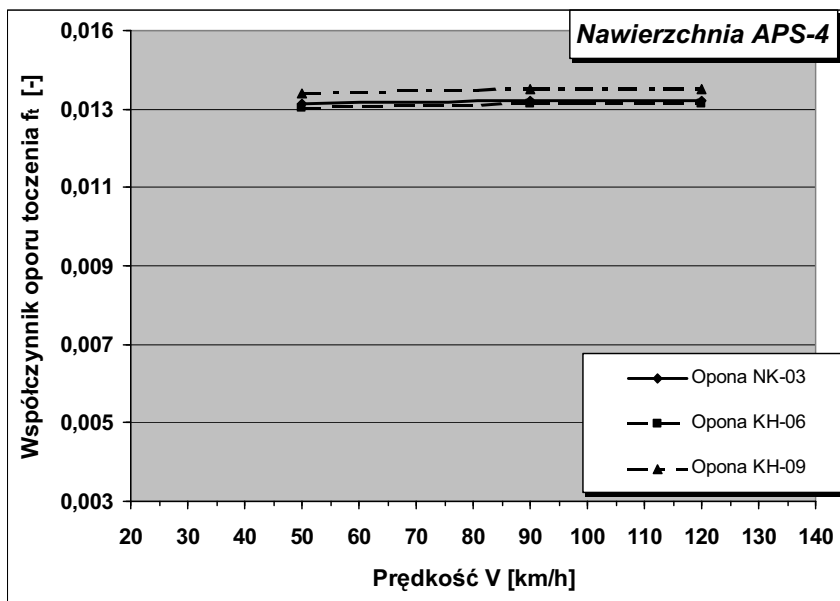
Rys. 4. Współczynnik oporu toczenia f_r na nawierzchni Safety Walk w funkcji prędkości toczenia opony.

Fig. 4. Rolling resistance coefficient f_r on Safety Walk surface as a function of tyre speed.

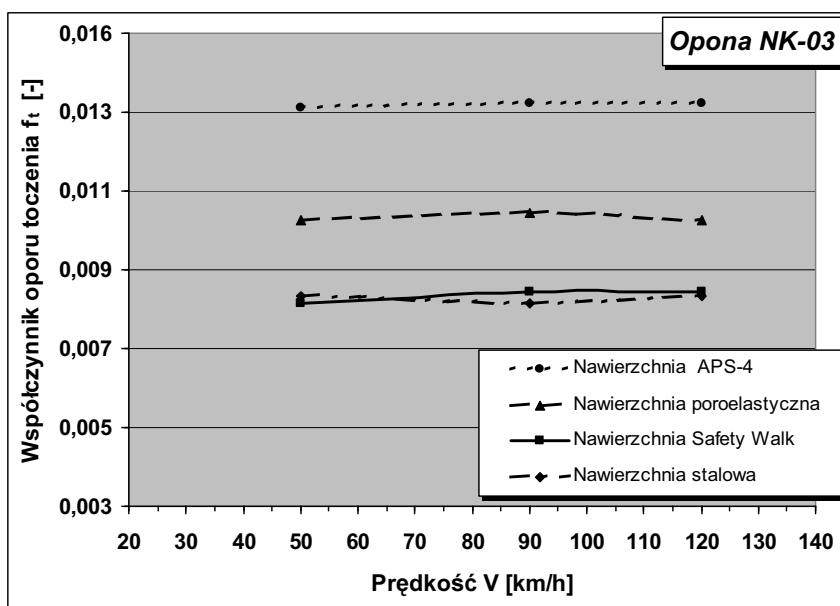


Rys. 5. Współczynnik oporu toczenia f_r na nawierzchni poroelastycznej w funkcji prędkości toczenia opony.

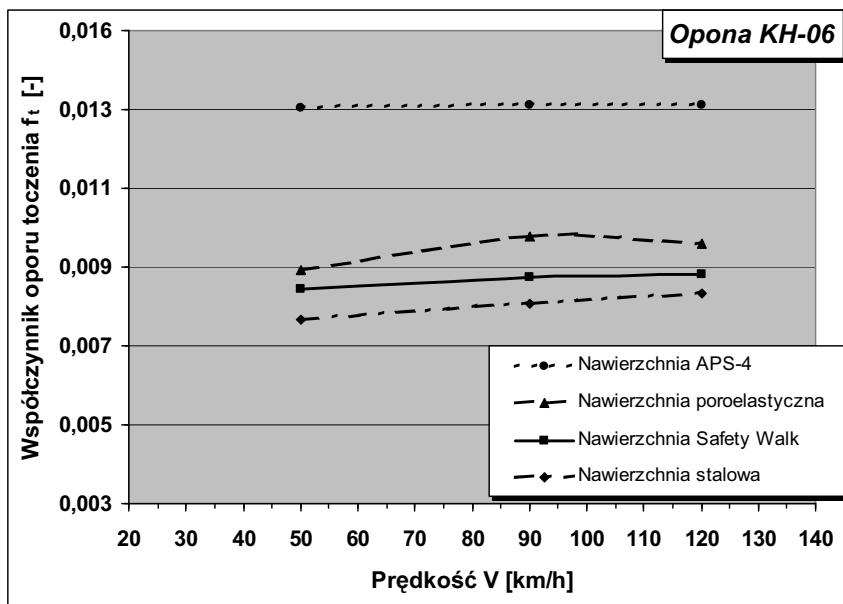
Fig. 5. Rolling resistance coefficient f_r on poroelastic surface as a function of tyre speed.



Rys. 6. Współczynnik oporu toczenia f_t na nawierzchni APS-4 w funkcji prędkości toczenia opony.
Fig. 6. Rolling resistance coefficient f_t on APS-4 surface as a function of tyre speed.

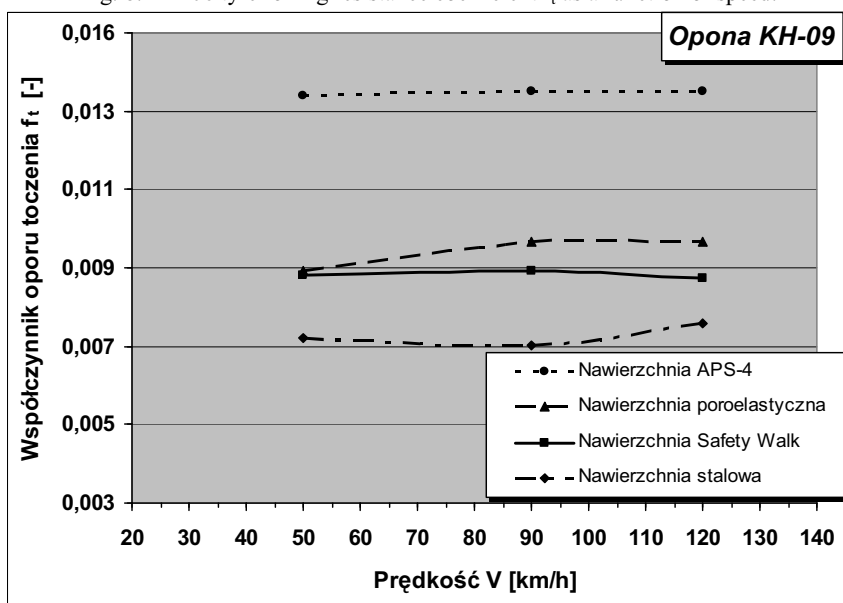


Rys. 7. Współczynnik oporu toczenia f_t opony NK-03 w funkcji prędkości toczenia.
Fig. 7. NK-03 tyre rolling resistance coefficient f_t as a function of speed.



Rys. 8. Współczynnik oporu toczenia f_t opony KH-06 w funkcji prędkości toczenia.

Fig. 8. KH-06 tyre rolling resistance coefficient f_t as a function of speed.



Rys. 9. Współczynnik oporu toczenia f_t opony KH-09 w funkcji prędkości toczenia.

Fig. 9. KH-09 tyre rolling resistance coefficient f_t as a function of speed.

Tabela 3. Procentowe przyrosty współczynnika oporu toczenia względem nawierzchni stalowej.
Table 3. Increase of rolling resistance coefficient in percent due to steel surface.

Prędkość [km/h]	NK-03			KH-06			KH-09		
	SW80	Poroel.	APS-4	SW80	Poroel.	APS-4	SW80	Poroel.	APS-4
50	-2,3%	23,3%	58,1%	10,1%	16,5%	70,9%	23,0%	24,3%	87,8%
90	3,6%	28,6%	63,1%	8,4%	21,7%	63,9%	27,8%	38,9%	94,4%
120	1,2%	23,3%	59,3%	5,8%	15,1%	58,1%	15,4%	28,2%	79,5%
Średnia	0,8%	25,0%	60,2%	8,1%	17,8%	64,3%	22,0%	30,5%	87,3%

Porównując dane zawarte w tabelach 3 i 4 nasuwa się wniosek, że nawierzchnie: stalowa i Safety Walk nie dają takiego samego punktu odniesienia. Dla opony NK-03 wyniki badań współczynnika oporu toczenia f_t dały na obu tych nawierzchniach

Tabela 4. Procentowe przyrosty współczynnika oporu toczenia względem nawierzchni Safety Walk.
Tab. 4. Increase of rolling resistance coefficient in percent due to Safety Walk surface.

Prędkość [km/h]	NK-03		KH-06		KH-09	
	Poroel.	APS-4	Poroel.	APS-4	Poroel.	APS-4
50	26,2%	61,9%	5,7%	55,2%	1,1%	52,7%
90	24,1%	57,5%	12,2%	51,1%	8,7%	52,2%
120	21,8%	57,5%	8,8%	49,5%	11,1%	55,6%
Średnia	24,1%	58,9%	8,9%	51,9%	7,0%	53,5%

praktycznie takie same rezultaty. Dla opony KH-06 wartości otrzymane na nawierzchni Safety Walk były wyższe, niż te otrzymane na nawierzchni stalowej średnio o 8,1%. Dla opony KH-09 średnie wartości tego współczynnika były wyższe o 22%. Oznacza to, że różne opony różnie "reagują" na rodzaj nawierzchni. Porównując wyniki umieszczone na rysunkach 3, 4 i 6 można zauważyć, że nawierzchnia gładka dobrze uwypukla różnice pomiędzy poszczególnymi oponami. Różnice te zmniejszają się na nawierzchniach szorstkich.

Nowością jest tutaj prototypowa nawierzchnia poroelastyczna. Wyższe wartości współczynnika oporu toczenia otrzymywane na tej nawierzchni względem nawierzchni Safety Walk wynikają najprawdopodobniej z dodatkowego odkształcania tej nawierzchni podczas jej kontaktu z oponą.

6. Wnioski

Przeprowadzając analizę otrzymanych wyników wysnuto następujące wnioski:

- Nawierzchnie referencyjne według normy ISO [4]: stalowa oraz Safety Walk (SW80) nie stanowią tego samego punktu odniesienia.
- Współczynnik oporu toczenia opon rośnie wraz ze wzrostem szorstkości nawierzchni.

- Nawierzchnia bardzo gładka – stalowa lepiej uwypukla różnice pomiędzy poszczególnymi oponami, chociaż nie jest nawierzchnią występującą w praktyce.
- Nawierzchnie szorstkie zmniejszają różnice pomiędzy poszczególnymi oponami.

7. Literatura

- [1] GRONOWICZ J.: *Ochrona środowiska w transporcie lądowym*. WiZPITE, Poznań – Radom, 2003.
- [2] *Samochody Świata 2005*. Katalog, Motovision Sp. z o.o. Warszawa 2005.
- [3] BANG J. R.: *Influence of Tire Rolling Resistance on Fuel Consumption*, Bang Consult, Sandnes, Norway 1999.
- [4] *ISO 18164 – Passenger car, truck, bus and motorcycle tyres - Methods of measuring rolling resistance*.

Passenger car tyres/road rolling resistance measurements on different surfaces

S u m m a r y

The paper presents the results of tyre/road rolling resistance investigations. Measurements were performed for three passenger car tyres according to the ISO method on a drum on four different surfaces: steel surface, Safety Walk, poroelastic surface and very rough surface APS-4. The rolling coefficient values were the lowest for the steel surface. There was noticed the low increase of this coefficient for Safety Walk surface. On the poroelastic surface there was observed the medium increase of this coefficient and the largest increase of rolling resistance coefficient was observed on APS-4 surface. The steel surface and Safety Walk surface which are the reference surfaces for tyre/road rolling resistance investigations do not give the same results of measurements. The steel surface (not real) has got the tendency to increase the differences between the tyres. The rough surfaces (real surfaces) have got the tendency to decrease the differences between the tyres.