

# Wpływ kąta pochylenia koła na opór toczenia opon samochodowych

Stanisław Taryma, Ryszard Woźniak

## Streszczenie

W pracy przedstawiono wpływ kąta pochylenia koła na opór toczenia opon do samochodów osobowych. Pomiary oporu toczenia kół toczących się z kątem pochylenia od  $-6^\circ$  do  $+3^\circ$  wykonano na bębnowej maszynie bieżnej metodą momentową. Wyniki pomiarów przedstawiono w formie zależności współczynnika oporu toczenia oraz przyrostu współczynnika oporu toczenia w funkcji kąta pochylenia badanego koła.

**Słowa kluczowe:** opony samochodowe, opór toczenia, kąt pochylenia koła.

## Wstęp

Jednym z podstawowych oporów ruchu pojazdu jest opór toczenia, który występuje w każdych warunkach ruchu. Wpływa on na zużycie paliwa pojazdu oraz na emisję do otoczenia substancji toksycznych zawartych w spalinach. Wartość tego oporu zależy od właściwości konstrukcyjnych opony, tekstury nawierzchni drogowej oraz od czynników eksploatacyjnych. W pracy [1] omówiono wpływ takich czynników eksploatacyjnych jak: prędkość, obciążenie pionowe opony, ciśnienie pompowania, obciążenie momentem napędowym lub hamującym, kąt znoszenia i temperatura otoczenia. Wpływ zużycia bieżnika opony na opór toczenia przedstawiono w pracy [2]. Niniejsza praca uzupełnia zakres opracowania o wpływ kąta pochylenia koła na opór toczenia opony. Pomiary oporu toczenia wykonano na stanowisku bębnowym Katedry Konstrukcji Maszyn i Pojazdów Politechniki Gdańskiej.

## 1. Stanowisko badawcze i opony testowe

Stanowisko bębnowe do badania oporu toczenia i hałasu opon samochodów osobowych i dostawczych przedstawiono w pracy [3]. Opór toczenia opon na tym stanowisku jest mierzony metodą momentową. Zewnętrzna powierzchnia bębna pokryta jest dwiema różnymi nawierzchniami. Jedna jest nawierzchnią gładką SW-80 o teksturze papieru ściernego o granulacji 80 (nazywana dalej SW), a druga APS-4 stanowi imitację szorstkiej nawierzchni drogowej, wykonanej jako powierzchniowe utrwalenie (nazywana dalej APS). Nawierzchnie te pokazało badanie opon toczących się z kątem pochylenia  $\beta$  wynoszącym od  $-6^\circ$  do  $+3^\circ$ . Do pomiaru kąta pochylenia koła zastosowano mechaniczno-optyczny przyrząd PKO-4. Skala kątowna zamontowana w odległości 2,5 m od osi koła umożliwiła pomiar kąta pochylenia koła z dokładnością  $\pm 5'$ . Do badania wpływu kąta pochylenia na opór toczenia koła ogumionego wykorzystano opony przedstawione w tabeli 1 i na rys. 1. Opona

E oznaczona jako Energy charakteryzuje się niskim a opona A wysokim oporem toczenia.



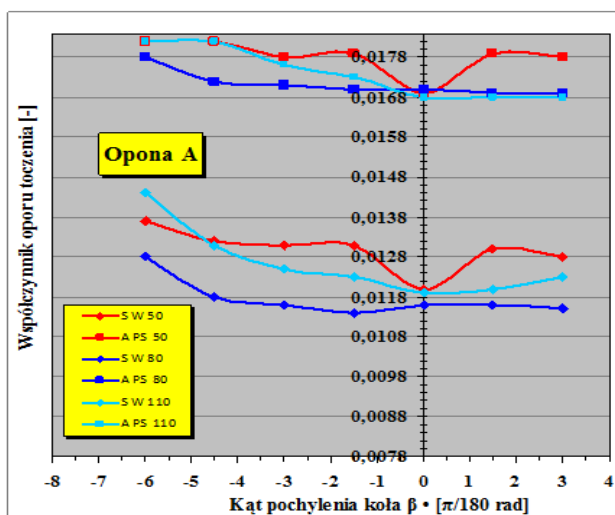
**Rys. 1.** Opony użyte w teście: A – opona o wysokim oporze toczenia, E – opona o niskim oporze toczenia.

**Tabela 1.** Opony testowe

Symbol	Rozmiar	Indeks	Bieżnik	Producent
A	185/65R 15	88 H	ZV 1	AVON
E	185/65R 15	88 H	E3A Energy	MICHELIN

## 2. Kąt pochylenia koła a opór toczenia

W ruchu samochodu koła jezdne toczą się z pewnym kątem pochylenia  $\beta$ . Spotykane wartości tego kąta we współczesnych pojazdach wahają się w granicach od  $-3,0^\circ$  do  $+2,0^\circ$ . Takiemu toczeniu się koła towarzyszy najczęściej wzrost oporu toczenia. Zależność współczynnika oporu toczenia na dwóch nawierzchniach opon A i E od kąta pochylenia koła przedstawiono na rysunkach 2 i 3. Na rys. 4 – 7 pokazano procentowe przyrosty współczynnika oporu toczenia w zależności od kąta pochylenia koła. Badania oporu toczenia wykonano na maszynie bieżnej przy prędkościach toczenia 50, 80 i 110 km/h na nawierzchni gładkiej SW i szorstkiej APS. Opona A przy prędkości 80 km/h na obu nawierzchniach charakteryzuje się współczynnikiem oporu toczenia praktycznie nie zależnym od kąta pochylenia koła w zakresie od  $+3^\circ$  do  $-4,5^\circ$ . Wahania współczynnika oporu toczenia zawierają się w granicach 2%. Na nawierzchni gładkiej SW minimum oporu toczenia występuje przy kącie pochylenia  $-1,5^\circ$ , a na nawierzchni szorstkiej APS przy  $+1,5^\circ$ . Dopiero przy kącie pochylenia  $-6^\circ$  odnotowano przyrost współczynnika oporu toczenia o około 12% na nawierzchni gładkiej (rys. 4) i o około 5% na nawierzchni szorstkiej (rys. 5). Przy prędkości 110 km/h minimum oporu toczenia występuje przy zerowym kącie pochylenia koła na obu nawierzchniach. Przyrost współczynnika oporu toczenia przy zmianie kąta pochylenia koła od  $0^\circ$  do  $3^\circ$  na nawierzchni SW wynosi ponad 3,5%, a na nawierzchni APS o 8,5%. Zupełnie inną zmiennością charakteryzuje się krzywa wzrostu oporu toczenia dla tej opony przy prędkości 50 km/h. Występuje dwustronny, symetryczny wzrost oporu toczenia przy zmianie kąta pochylenia koła od  $0^\circ$  do  $+1,5^\circ$  i od  $0^\circ$  do  $-1,5^\circ$  o około 9% na nawierzchni SW i o 6% na nawierzchni APS. Dalszy wzrost kąta pochylenia do  $-6^\circ$  skutkuje wzrostem oporu toczenia o 14% na SW i o 8% na APS.

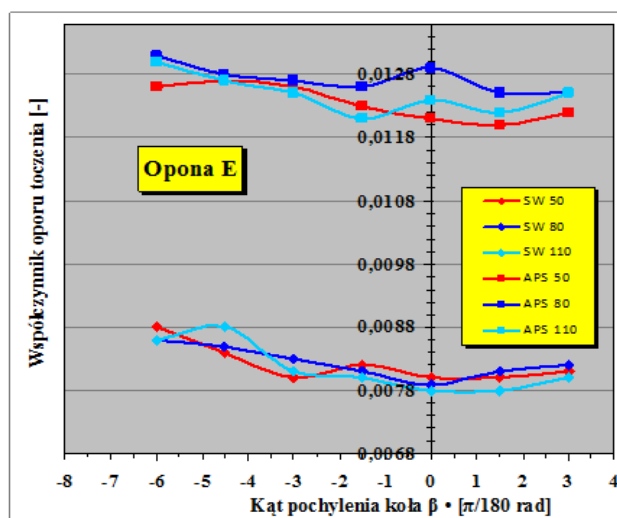


Rys. 2. Zależność współczynnika oporu toczenia opony A na nawierzchni SW i APS od kąta pochylenia koła  $\beta$  dla prędkości 50, 80 i 110 km/h.

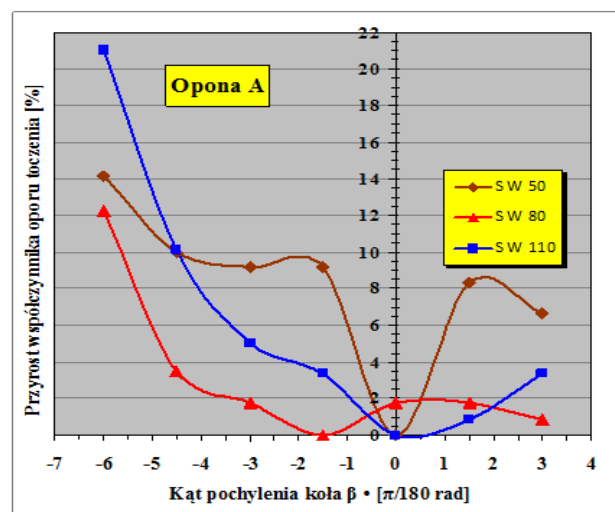
Bardzo zbliżone są do siebie przebiegi zależności współczynnika oporu toczenia w funkcji kąta pochylenia koła dla opony E na obu nawierzchniach. Widać minimalny wpływ prędkości na opór toczenia. Maksymalny przyrost oporu

toczenia w zależności od kąta pochylenia koła na nawierzchni APS wynosi 13% (rys. 6), a na nawierzchni SW około 7,5% (rys. 7). Na nawierzchni gładkiej minimum oporu toczenia występuje przy zerowym kącie pochylenia dla trzech prędkości (rys. 6), natomiast na nawierzchni szorstkiej minimum występuje przy kącie pochylenia  $+1,5^\circ$  dla trzech prędkości oraz przy kącie pochylenia  $-1,5^\circ$  przy prędkości 80 oraz 100 km/h (rys. 7).

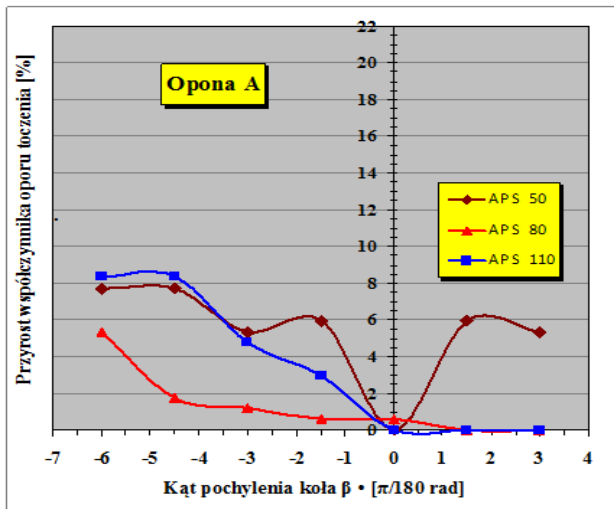
Na nawierzchni gładkiej obie opony charakteryzują się większym przyrostem oporu toczenia w zależności od kąta pochylenia koła niż na nawierzchni szorstkiej. Maksymalny przyrost oporu toczenia sięgający 21% wystąpił dla opony A przy kącie pochylenia koła  $-6^\circ$  dla prędkości 110 km/h. Opona E na nawierzchni APS przy zerowym kącie pochylenia koła wykazywała wyższy opór toczenia, niż przy kątach pochylenia  $+1,5^\circ$  i  $-1,5^\circ$ . Dotyczy to wszystkich prędkości toczenia podczas badań.



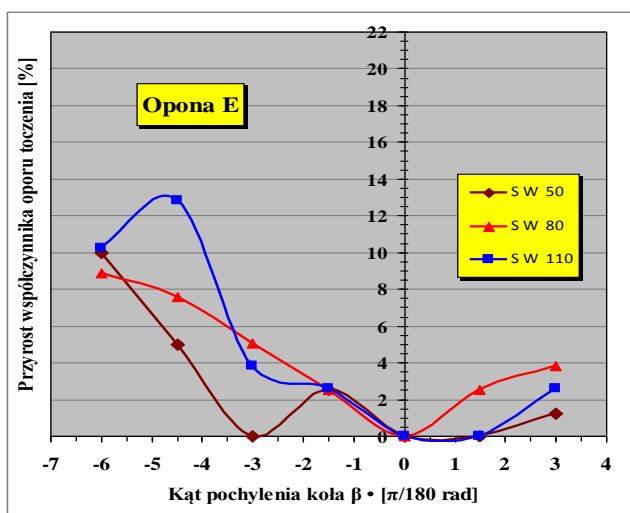
Rys. 3. Zależność współczynnika oporu toczenia opony E na nawierzchni SW i APS od kąta pochylenia koła  $\beta$  dla prędkości 50, 80 i 110 km/h.



Rys. 4. Przyrost współczynnika oporu toczenia opony A na nawierzchni SW w funkcji kąta pochylenia koła  $\beta$  dla prędkości 50, 80 i 110 km/h.



**Rys. 5.** Przyrost współczynnika oporu toczenia opony A na nawierzchni APS w funkcji kąta pochylenia koła  $\beta$  dla prędkości 50, 80 i 110 km/h.

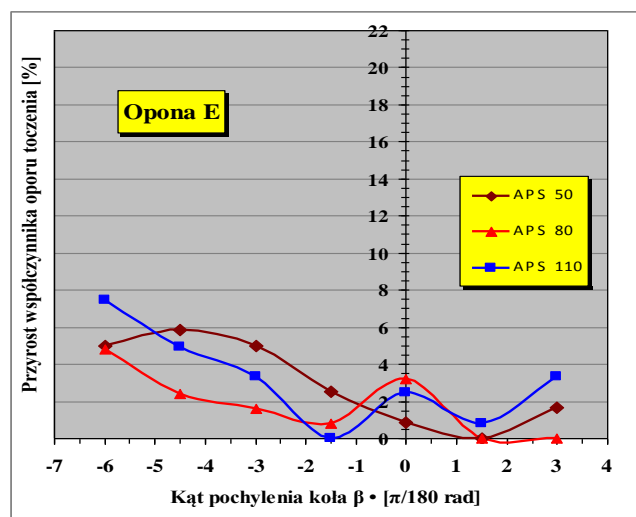


**Rys. 6.** Przyrost współczynnika oporu toczenia opony E na nawierzchni SW w funkcji kąta pochylenia koła  $\beta$  dla prędkości 50, 80 i 110 km/h.

#### 4. Wnioski

Pochylenie koła powoduje zwiększone odkształcenie toczonej się opony pociągające za sobą zwiększenie oporu toczenia. Wpływ kąta pochylenia koła na opór toczenia jest różny na nawierzchni gładkiej i szorstkiej. Na gładkiej nawierzchni obie opony charakteryzują się większym przyrostem oporu toczenia w funkcji kąta pochylenia koła (do 3%/1°) niż na nawierzchni szorstkiej (do 1%/1°). Powodem mogą być większe siły adhezji występujące na nawierzchni gładkiej, powodujące intensywniejsze przyklejanie się elementów bieżnika opony do nawierzchni. W warunkach występowania kąta pochylenia koła zjawisko to może powodować wzrost oporu toczenia na czystej nawierzchni bębna maszyny bieżnej. W warunkach drogowych, gdzie

występuje zabrudzenie nawierzchni pyłem i piaskiem, wpływ tego zjawiska na opór toczenia może mieć mniejsze znaczenie. Analizując zależność oporu toczenia od kąta pochylenia koła można zauważyć, że minimum oporu toczenia nie zawsze występuje przy zerowym kącie pochylenia koła. Przyczyny tego zjawiska można upatrywać w tym, że konstrukcja opony nie jest „dokładnie symetryczna” względem jej wzdłużnej płaszczyzny symetrii. Osnowa opony radialnej nie jest ułożona dokładnie promieniowo lecz pod kątem od 0° do 5° [4] w stosunku do promienia koła oraz nitki opasania nie są usytuowane dokładnie obwodowo, lecz pod kątem od 5° do 20° [4] w stosunku do wzdłużnej płaszczyzny symetrii opony. Znajomość wpływu kąta pochylenia koła na opór toczenia jest istotna w przypadku szacowania dokładności pomiarów w drogowych badaniach oporu toczenia opon. Przyczepy dynamometryczne do pomiaru oporu toczenia są budowane z zachowaniem zerowego kąta pochylenia koła z dokładnością  $\pm 1^\circ$ . Podczas pomiarów drogowych źródłem błędów może być spadek poprzeczny (boczne pochylenie) nawierzchni drogi w celu jej odwodnienia wynoszący minimum 2% (około 1,15°) [5]. Na łukach i wzniesieniach drogi ten spadek poprzeczny nawierzchni może być większy.



**Rys. 7.** Przyrost współczynnika oporu toczenia opony E na nawierzchni APS w funkcji kąta pochylenia koła  $\beta$  dla prędkości 50, 80 i 110 km/h.

#### Podziękowania

Prace, których wyniki przytoczone są w niniejszym artykule, prowadzone były w ramach projektu RÖLRES finansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju (Grant PBS1/A6/1/2012).

#### Bibliografia

1. 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, ISSN 0011-456.
2. Taryma S., *Wpływ zużycia opony na jej opór toczenia*, Autobusy, Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe, nr 6/2014.
3. Woźniak R., Taryma S., Ejsmont J.A., Wilga M.: *Laboratoryjne pomiary oporu toczenia opon*

- samochodowych na nawierzchni szorstkiej i gładkiej. Auto-Technika Motoryzacyjna. Motoryzacyjny Kwartalnik Naukowo-Techniczny, 1-94.
4. Jurkowska B., Jurkowski B.: Produkcja opon i dętek, WNT, Warszawa 1975.
5. [https://gddkia.gov.pl/userfiles/articles/a/analiza-metod-poprawy-stanu-odwo\\_1/documents/zeszyt-1.pdf](https://gddkia.gov.pl/userfiles/articles/a/analiza-metod-poprawy-stanu-odwo_1/documents/zeszyt-1.pdf) Zalecenia projektowania, budowy i utrzymania odwodnienia dróg oraz przystanków komunikacyjnych.

## Tyre camber angle influence on rolling resistance of car tyres

### Abstract

*Tyre camber angle influence on rolling resistance of car tyres was presented in his paper. Rolling resistance measurements of car tyres rolling with the tyre camber angle within a range from  $-6^\circ$  do  $+3^\circ$  have been performed on drum facility using torque method. The results have been presented in the form of the rolling resistance coefficient and the increase of the rolling resistance coefficient due to the tyre camber angle.*

**Key words:** tyres, rolling resistance, tyre camber angle.

### Autorzy:

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

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