

WPLYW RÓWNOŚCI NAWIERZCHNI NA OPÓR TOCZENIA OPON

JERZY EJSMONT¹, GRZEGORZ RONOWSKI², STANISŁAW TARYMA³, BEATA ŚWIECZKO-ŻUREK⁴

Politechnika Gdańska

Streszczenie

Parametry geometryczne nawierzchni w sposób decydujący wpływają na współpracę opony samochodowej z drogą. W zależności od długości fali nierówności oddziaływanie tekstury koncentruje się na przyczepności, oporze toczenia, hałasie wewnętrznym i zewnętrznym, zużyciu opony oraz komforcie jazdy. Artykuł prezentuje wyniki badań wpływu równości nawierzchni na opór toczenia opon do samochodów osobowych i ciężarowych. Badania prowadzone były na maszynie bieżnej stanowiącej wyposażenie Laboratorium Badania Opon Samochodowych Politechniki Gdańskiej na której zamontowano specjalnie wykonaną replikę nawierzchni drogowej o sinusoidalnym przebiegu nierówności oraz na drodze. Badane nierówności miały długość fali 0.8 m i amplitudę wynoszącą 10 mm co odpowiada nierównościom popularnie nazywanym "tarką". Celem eksperymentów było stwierdzenie, czy obserwowany na nierównych nawierzchniach wzrost oporu toczenia wiąże się jedynie ze wzrostem strat w elementach tłumiących zawieszenia, czy też wzrastają również straty w samej oponie. Badania wykazały, że na opisanej nawierzchni sinusoidalnej w stosunku do gładkiej nawierzchni Safety Walk opory w oponach samochodów osobowych wzrastają o około 10%, a dla opon do samochodów ciężarowych o około 30%.

Słowa kluczowe: opony, opór toczenia, równość nawierzchni

1. Wstęp

Z punktu widzenia opony samochodowej najważniejszymi parametrami nawierzchni decydującymi o charakterze współpracy opony z jezdnią są: równość⁵ i tekstura⁶, sztywność oraz porowatość warstwy ściernalnej. W niniejszym artykule poruszony jest wpływ równości nawierzchni na opór toczenia opon do samochodów osobowych i ciężarowych. Na rys. 1 przedstawione są w sposób schematyczny długości fal i częstotliwości przestrzenne⁷ dla poszczególnych zakresów tekstury wraz ze wskazaniem na jakie istotne parametry

¹ Politechnika Gdańska, Wydział Mechaniczny, ul. Narutowicza 11/12, 80-233 Gdańsk, e-mail: jejsmont@pg.gda.pl, +48 603 943 908

² Politechnika Gdańska, Wydział Mechaniczny, ul. Narutowicza 11/12, 80-233 Gdańsk, e-mail: gronowski@pg.gda.pl

³ Politechnika Gdańska, Wydział Mechaniczny, ul. Narutowicza 11/12, 80-233 Gdańsk, e-mail: staryma@pg.gda.pl

⁴ Politechnika Gdańska, Wydział Mechaniczny, ul. Narutowicza 11/12, 80-233 Gdańsk, e-mail: beazurek@pg.gda.pl

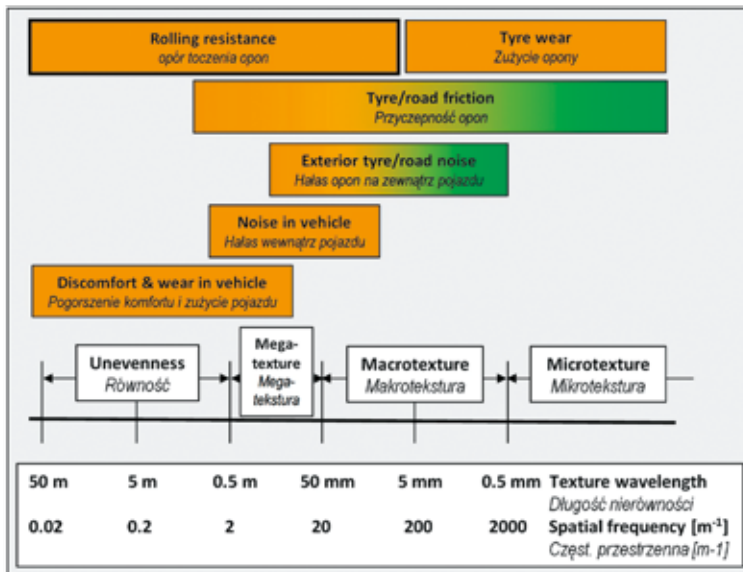
⁵ Równość – cecha eksploatacyjna określająca zdolność nawierzchni jezdni do nie wzbudzania wstrząsów i drgań poruszającego się pojazdu [1].

⁶ Tekstura nawierzchni - odstępstwo rzeczywistej powierzchni nawierzchni drogowej od idealnie płaskiej powierzchni [2].

⁷ Częstotliwość przestrzenna - liczba okresów nierówności na jednostce długości.

współpracy opony z nawierzchnią zakres ten ma duży wpływ. W przypadku przyczepności opony oraz hałasu zewnętrznego zwiększenie tekstury może mieć w pewnych zakresach wpływ korzystny (co zostało symbolicznie zaznaczone na rysunku kolorem zielonym) a w innych niekorzystny (kolor żółty).

Powszechnie przyjmuje się [3], że zwiększenie tekstury (zazwyczaj wyrażanej w postaci wskaźnika MPD⁸) powoduje istotny wzrost oporów toczenia, podobnie jak pogorszenie równości nawierzchni (zazwyczaj wyrażanej poprzez wskaźnik IRI⁹). Badania prowadzone przez autorów niniejszego artykułu wskazują jednak, że wpływ MPD na opór toczenia nie jest tak duży jak się to powszechnie uważa [6]. Nie ulega wątpliwości, że na nawierzchniach charakteryzujących się dużą wartością wskaźnika IRI (czyli nawierzchniach "nierównych") istotne straty energii powstają w elementach tłumiących znajdujących się w zawieszeniu pojazdu, co bezpośrednio przekłada się na podwyższenie temperatury amortyzatorów. Brak jest jednak informacji czy podczas jazdy na nierównej nawierzchni następuje również wzrost strat energetycznych w samych oponach. Ten problem stał się jednym z podstawowych celów realizacji projektu ROLRES. Poniżej przedstawione są wybrane wyniki przeprowadzonych w latach 2013-2015 badań drogowych i laboratoryjnych.



Rys. 1. Wpływ równości i tekstury nawierzchni na parametry współpracy opony z jezdnią [7]

⁸ MPD - Mean Profile Depth - średnia głębokość profilu nierówności [4].

⁹ IRI - International Roughness Index - wskaźnik równości podłużnej zdefiniowany jako zakumulowane przemieszczenie zawieszenia koła w ćwiartkowym modelu pojazdu podzielone przez dystans pokonany podczas symulowanego przejazdu [5].

2. Wyniki badań drogowych z wykorzystaniem metody wybiegu

Badania drogowe metodą wybiegu przeprowadzone były na torze doświadczalnym TATRA w Czechach [8]. Na torze tym znajduje się wiele specjalnych nawierzchni drogowych charakteryzujących się szerokim zakresem wskaźników MPD i IRI. Do badań wybrano gładką nawierzchnię asfaltową oraz nawierzchnię betonową z nierównościami o charakterze sinusoidalnym, amplitudzie 10 mm i długości fali 800 mm (patrz rys. 2). Obliczony dla sinusoidalnej nawierzchni wskaźnik IRI = 6.33 mm/m. Na nawierzchniach testowych badane były trzy pojazdy: samochód osobowy Ford Mondeo 2.5l, specjalny pojazd terenowy SOF oraz samochód ciężarowy Star 944. W pojeździe SOF badania wykonano przy zastosowaniu dwóch kompletów amortyzatorów różniących się znacznie współczynnikiem tłumienia. Ze względu na bardzo duże obciążenia zawieszonych pojazdów występujące podczas jazdy po nawierzchni sinusoidalnej testy ograniczono do prędkości początkowej 25 km/h. Dodatkową zaletą badania pojazdów przy tak niewielkiej prędkości było znaczne ograniczenie wpływu oporu aerodynamicznego.



Rys. 2. Samochód SOF podczas próby wybiegu na nawierzchni sinusoidalnej [8].

W tab. 1 przedstawione są uśrednione wartości drogi wybiegu uzyskane podczas badań na bardzo gładkiej nawierzchni asfaltowej i na nawierzchni sinusoidalnej. Wyniki wskazują na to, że straty energii spowodowane jazdą po nierównej nawierzchni są znacznie większe niż podczas jazdy po nawierzchni gładkiej. W przypadku samochodu Ford MONDEO droga pokonana podczas wybiegu na nawierzchni sinusoidalnej wyniosła jedynie 43% drogi pokonywanej na nawierzchni gładkiej. Oznacza to, że straty energii z powodu szeroko rozumianego oporu toczenia (to znaczy oporu toczenia uwzględniającego straty w oponie i w zawieszaniu) były ponad 2 razy większe. Dla samochodu ciężarowego STAR 944 pokonana droga zmniejszyła się do 74%, dla samochodu SOF z amortyzatorami gazowymi

o małym tłumieniu - 53%, a z amortyzatorami o dużym tłumieniu - 57%. Analizując te wyniki trzeba pamiętać, że zarówno w samochodzie SOF jak i w samochodzie STAR w mostach napędowych występują stosunkowo duże opory stałe (gdyż oba pojazdy mają charakter pojazdów terenowych) co prowadzi do zmniejszenia "czułości" drogi wybiegu na zmiany oporu toczenia opon. Można jednak stwierdzić z dużym prawdopodobieństwem, że wpływ nierówności nawierzchni na straty energetyczne dla wszystkich badanych pojazdów był znaczny i był on tym większy im bardziej miękkie zawieszenie posiadał pojazd.

Tab. 1. Uśrednione drogi wybiegu uzyskane na nawierzchni gładkiej i sinusoidalnej

Pojazd	Gładka nawierzchnia asfaltowa	Nawierzchnia sinusoidalna
Ford MONDEO	206.5 m	88.3 m
SOF (amortyzatory o małym tłumieniu)	143.0 m	75.3 m
SOF (amortyzatory o dużym tłumieniu)	133.5 m	75.9 m
STAR 944	161.5 m	120.0 m

Wyniki uzyskane na torze TATRA spowodowały, że podjęto decyzję o odtworzeniu profilu nawierzchni sinusoidalnej na bębnie maszyny bieżnej, która wykorzystywana jest w Katedrze Konstrukcji Maszyn i Pojazdów Politechniki Gdańskiej do badań oporu toczenia opon samochodowych.

3. Wyniki badań laboratoryjnych na replikach nawierzchni drogowych

Badania drogowe wykazały bardzo duży wpływ równości nawierzchni na opór toczenia wszystkich badanych opon. Niestety badania te nie mogły wskazać, czy wzrost strat energetycznych wynika jedynie z rozpraszania energii w amortyzatorach i innych elementach zawieszenia, czy też jednocześnie następują zwiększone straty w samej oponie, która jest poddawana znacznym, cyklicznym odkształceniom. Co prawda możliwa jest ocena strat energetycznych w amortyzatorach na podstawie ich charakterystyk dynamicznych zdjętych na stanowisku badawczym, ale nie jest to metoda dokładna, gdyż na pracę amortyzatora wpływa zarówno amplitud wymuszeń jak i ich częstotliwość oraz temperatura amortyzatora, która przy prowadzeniu badań wybiegiem nie ma czasu na ustabilizowanie się. W związku z powyższym podjęto decyzję o tym, aby na maszynie bieżnej do badania opon samochodów ciężarowych (patrz rys. 3) zainstalować repliki nawierzchni o dokładnie takim samym profilu jak wykorzystywany był na torze TATRA. Na rys. 4 przedstawiona jest współpraca opony referencyjnej SRTT z repliką sinusoidalną. Na rysunku z lewej strony widoczna jest sytuacja, w której opona znajduje się w miejscu, gdzie replika ma najmniejszą grubość ("zagłębienie") a na rysunku z prawej strony opona znajduje się na szczycie wybrzuszenia.



Rys. 3. Maszyna bieżna z bębnum zewnętrznym o średnicy 2.0 m



Rys. 4. Minimalne (z lewej) i maksymalne (z prawej) ugięcie dynamiczne opony toczącej się po repliце sinusoidalnej

Ponieważ maszyna bieżna ma bardzo ciężką piastę, na której mocuje się koło oraz maszyną dźwignię na której mocowane są ciężarki obciążające, więc nawet przy amplitudzie wymuszeń wynoszącej aż 10 mm bezwładność układu zawieszenia koła jest tak duża, że praktycznie nie występują oscylacje przenoszące się na amortyzator zainstalowany w układzie obciążającym koło. Oscylacje te są jedynie istotne przy toczeniu z prędkością powodującą drgania rezonansowe, ale uznano, że nie należy prowadzić badań w tych warunkach ze względu na bardzo duże obciążenia dynamiczne grożące uszkodzeniem stanowiska. Dla określenia wpływu nierówności sinusoidalnych wykonano również badania opon na nawierzchni stalowej uznanej za referencyjną ($IRI \approx 0$) oraz na nawierzchni standardowej Safety Walk. Badania przeprowadzono przy prędkości 50 km/h dla opon przedstawionych w tab. 2.

Opony badane były w warunkach stabilizacji cieplnej to znaczy po ustabilizowaniu się temperatur powierzchni opony. Opony do samochodów osobowych obciążone były siłą 4000 N i napompowane do ciśnienia 210 kPa. Zgodnie z metodyką stosowaną na Politechnice Gdańskiej dla opon do samochodów osobowych utrzymywano przez cały okres pomiarów stałą wartość ciśnienia pompowania. Opony do samochodów ciężarowych obciążone były siłą wynoszącą 25 000 N, a ciśnienie 700 kPa ustawiono "na zimno". Dla poszczególnych warunków badań wykonywano pomiar trwający 3 minuty. Maszyny bieżne wykorzystywane na Politechnice Gdańskiej przystosowane są do pomiaru oporu toczenia metodą momentową [9] i zapewniają dokładność pomiaru siły oporów toczenia na poziomie około 1%.

Tab. 2 Opony testowe wykorzystane do badań oporu toczenia

Symbol opony	Producent i model	Rozmiar	Uwagi
T1097	UNIROYAL Tiger Paw M+S	P225/60R16	Opony wykorzystywane jako nieformalne opony referencyjne
T1064	MICHELIN Primacy HP	225/60R16	
T1087	AVON Super Van AV4	195R14C	
T1116	DUNLOP SP372 CITY / BOSS	275/70R22.5	Opony do samochodu ciężarowego, bieżnikowane
T1117	MICHELIN XDU	275/70R22.5	

Jednocześnie z badaniami oporu toczenia wykonywano termogramy za pomocą kamery termowizyjnej VIGOCam V5. Na podstawie termogramów określono temperaturę poszczególnych stref opony podczas toczenia po różnych nawierzchniach jako średnią (dla każdej ze stref) z 6 punktów pomiarowych w których ustawione były markery. Wyniki pomiarów przedstawione są w tab. 3.

Graficzna interpretacja wyników uzyskanych dla opon do samochodów osobowych przedstawiona jest na Rys. 5-7. Jak wynika z rysunków dla wszystkich badanych opon opór toczenia na gładkiej nawierzchni stalowej jest najmniejszy, a na nawierzchni sinusoidalnej największy. Znajduje to również odzwierciedlenie w temperaturach poszczególnych stref opon, które rosną wraz ze wzrostem oporu toczenia. Wzajemne zależności pomiędzy temperaturami barku, ścianek bocznych i stopki są dla wszystkich badanych opon różne. Dla opony referencyjnej T1097 najwyższą temperaturę wykazują stopki opony, a najniższą ścianki boczne. Dla opony referencyjnej T1087 najwyższą temperaturę wykazują również stopki, ale najniższą temperaturę wykazują barki opony. W przypadku opony referencyjnej T1064 najwyższą temperaturę wykazują barki, a najniższą ścianki boczne.

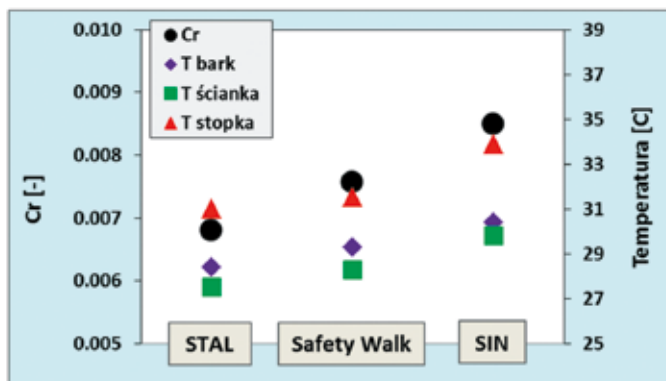
Dla większości opon największy wzrost temperatury przy toczeniu po nawierzchni sinusoidalnej występuje dla stopek, co wskazuje, że w tym rejonie najbardziej wzrastają straty energii spowodowane przez cykliczne dociążanie i odciążanie opony wynikające z falistości nawierzchni. Różnice w rozkładzie wartości temperatury poszczególnych opon dają się wyłumaczyć różnicami w ich budowie wewnętrznej. Przykładowo opona T1087, która jest przystosowana do samochodów dostawczych ma grube i sztywne ścianki boczne co prowadzi do wzrostu temperatury w ich rejonie.

Tab. 3. Współczynniki oporu toczenia oraz temperatura poszczególnych stref opon

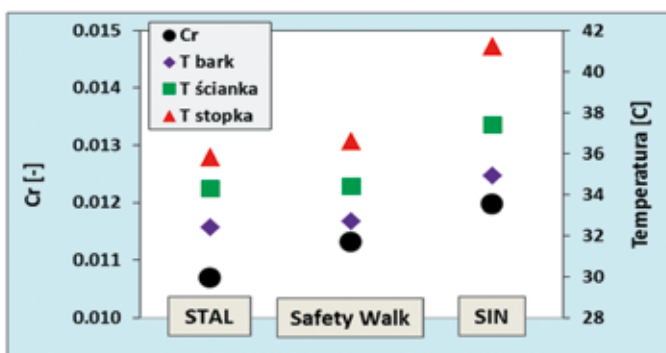
Opona	Wielkość mierzona	Nawierzchnia stalowa	Nawierzchnia Safety Walk	Nawierzchnia sinusoidalna
T1064	Wsp. oporu tocz. C_r [-]	0.0087	0.0091	0.0097
	Temp. barku [°C]	30.3	32.1	34.6
	Temp. boku [°C]	29.1	30.1	32.6
	Temp. stopki [°C]	30.1	31.2	33.9
T1087	Wsp. oporu tocz. C_r [-]	0.0107	0.0113	0.0120
	Temp. barku [°C]	32.4	32.7	34.9
	Temp. boku [°C]	34.3	34.4	37.4
	Temp. stopki [°C]	35.8	36.6	41.2
T1097	Wsp. oporu tocz. C_r [-]	0.0068	0.0076	0.0085
	Temp. barku [°C]	28.4	29.3	30.4
	Temp. boku [°C]	27.5	28.3	29.8
	Temp. stopki [°C]	31	31.5	33.9
T1116	Wsp. oporu tocz. C_r [-]	0.0054	0.0056	0.0075
	Temp. barku [°C]	28.4	29.3	30.4
	Temp. boku [°C]	27.5	28.3	29.8
	Temp. stopki [°C]	31.0	31.5	33.9
T1117	Wsp. oporu tocz. C_r [-]	0.0062	0.0064	0.0081
	Temp. barku [°C]	32.4	32.7	34.9
	Temp. boku [°C]	34.3	34.4	37.4
	Temp. stopki [°C]	35.8	36.6	41.2

Na rys. 8 przedstawione są termogramy uzyskane dla opony T1087. Na termogramie "C" uzyskanym na nawierzchni sinusoidalnej wyraźnie widoczny jest silny, lokalny wzrost temperatury w rejonie stopki opony, bezpośrednio przy krawędzi obręczy koła.

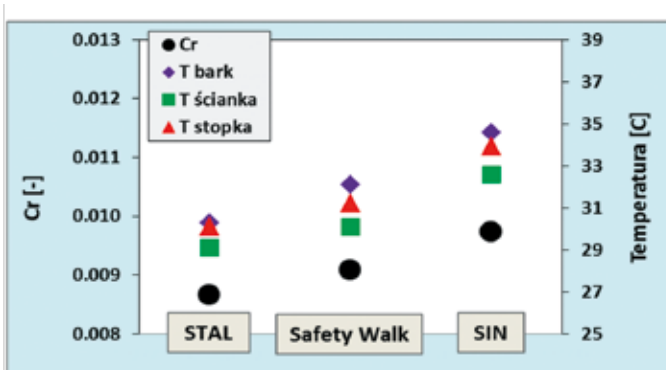
Graficzna interpretacja wyników uzyskanych dla opon do samochodów ciężarowych przedstawiona jest na rys. 9-10. Jak wynika z rysunków, dla obu badanych opon opór toczenia na gładkiej nawierzchni stalowej jest najmniejszy, a na nawierzchni sinusoidalnej jest największy. Podobnie jak w przypadku opon do samochodów osobowych znajduje to również odzwierciedlenie w temperaturach poszczególnych stref opon, które rosną wraz ze wzrostem oporu toczenia. Wzajemne zależności pomiędzy temperaturami barku, ścianek bocznych i stopki są różne dla różnych opon. Dla opony T1116 najwyższą temperaturę wykazują stopki opony, a najniższą ścianki boczne. Dla opony T1117 najwyższą temperaturę wykazują również stopki, ale najniższą temperaturę wykazują barki opony. Trzeba tutaj podkreślić, że badane opony były bieżnikowane i posiadały ten sam bieżnik, ale różniły się karkasem. Dla wszystkich opon największy wzrost temperatury przy toczeniu



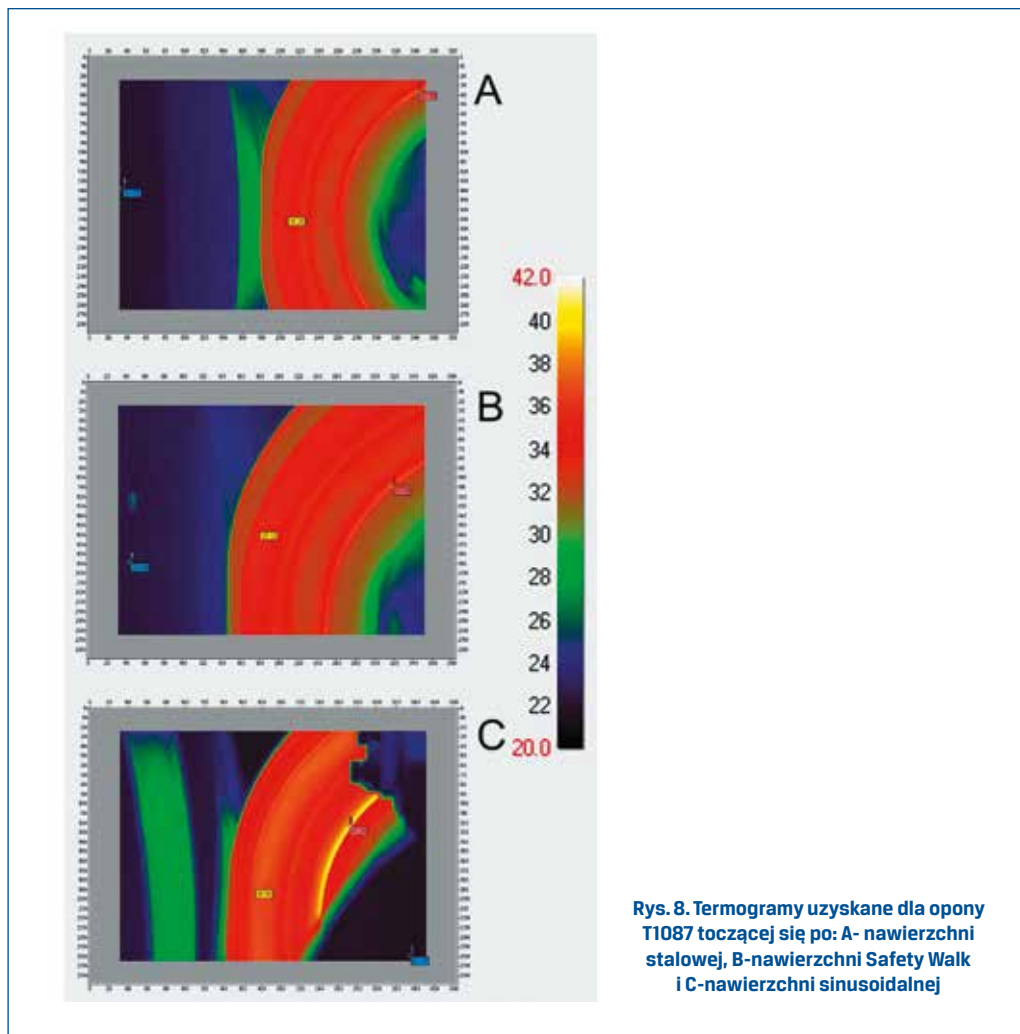
Rys. 5. Porównanie współczynnika oporu toczenia i temperatury dla opony T1097



Rys. 6. Porównanie współczynnika oporu toczenia i temperatury dla opony T1087



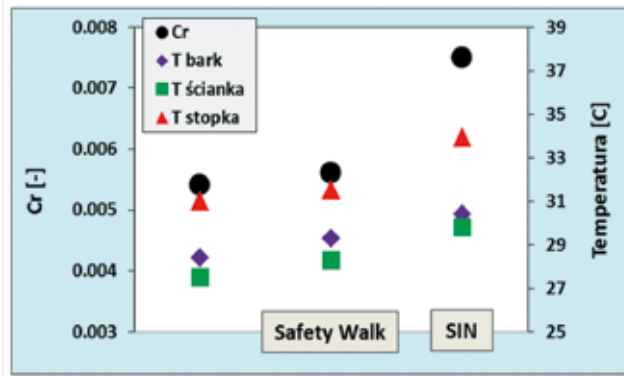
Rys. 7. Porównanie współczynnika oporu toczenia i temperatury dla opony T1064



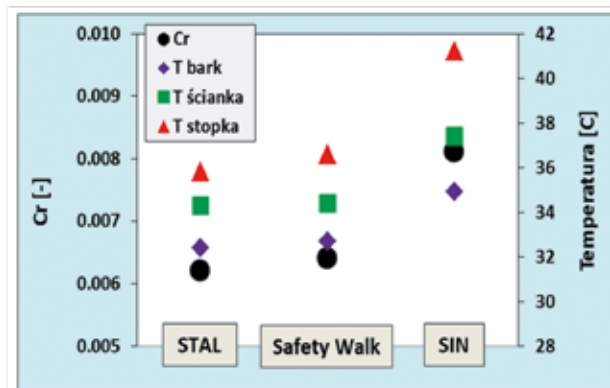
po nawierzchni sinusoidalnej występuje dla stopek. Sytuacja jest więc bardzo podobna jak dla opon do samochodów osobowych.

Na Rys. 11 przedstawione są termogramy uzyskane dla opony T1117. Podobnie jak dla opon do samochodów osobowych na termogramie "C", który uzyskany został dla opony toczącej się po nawierzchni sinusoidalnej widoczny jest lokalny wzrost temperatury w rejonie stopki, bezpośrednio przy krawędzi obręczy koła.

Podobne wyniki badań uzyskane zostały również dla innych opon, w tym opon typu RunFlat. Różnice w przypadku opon RunFlat różnych producentów występowały jedynie w intensywności wzrostu oporu toczenia na nawierzchni sinusoidalnej w stosunku do podobnej opony, ale nie posiadającej własności typu RunFlat.



Rys. 9. Porównanie współczynnika oporu toczenia i temperatury dla opony T1116

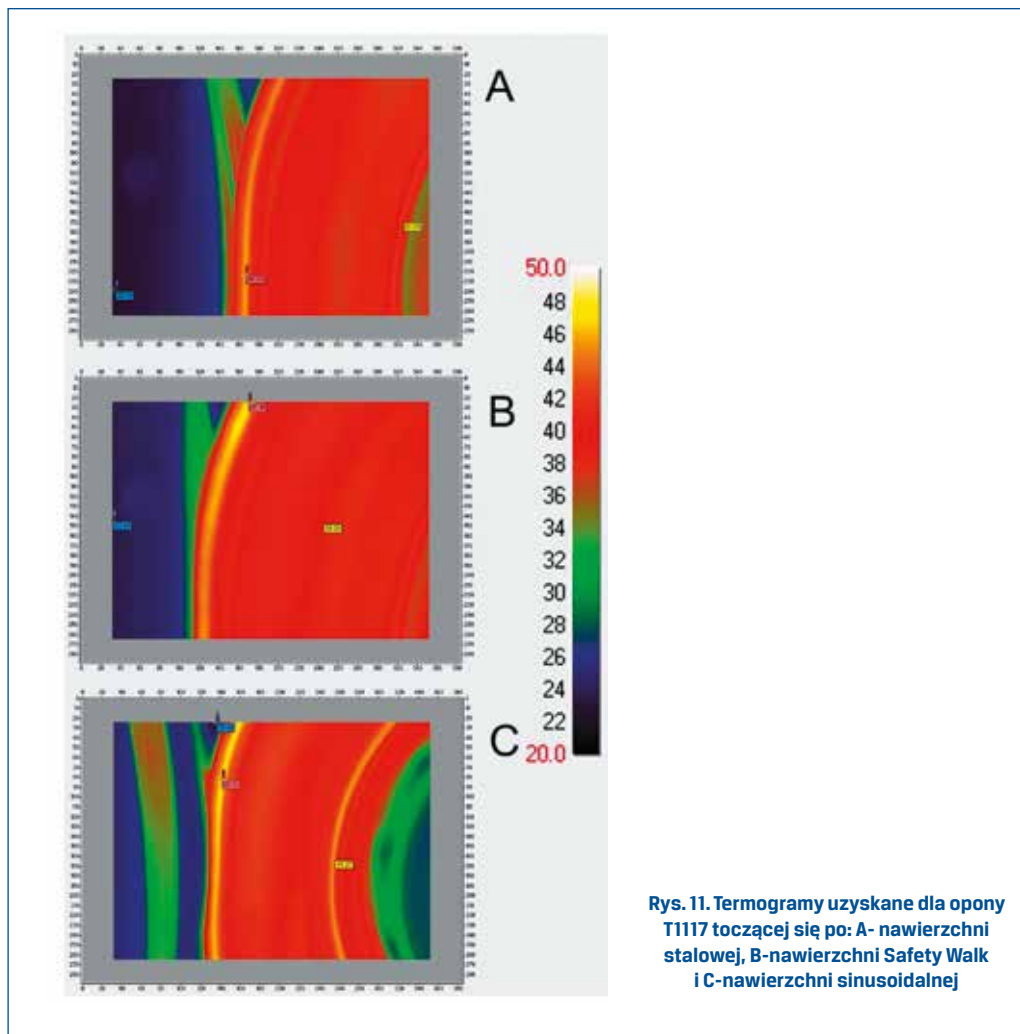


Rys. 10. Porównanie współczynnika oporu toczenia i temperatury dla opony T1117

4. Wnioski

Wyniki przedstawione w niniejszym artykule wskazują na to, że nierówności nawierzchni o dużych długościach fali ("równość") powodują zarówno zwiększenie strat energetycznych w samej oponie, jak również wystąpienie istotnych strat energetycznych w elementach tłumiących zawieszenia. Dla różnego typu pojazdów rozkład strat pomiędzy oponę i zawieszenie może być bardzo różny.

Dla zbadanego samochodu osobowego droga wybiegu na nawierzchni sinusoidalnej wynosi tylko 43 % drogi wybiegu na nawierzchni gładkiej. Oznacza to, przy pewnych założeniach upraszczających, że opory ruchu na nawierzchni sinusoidalnej były o około 230% większe niż na nawierzchni równej. Jednocześnie porównanie współczynnika oporu toczenia dla opon do samochodów osobowych uzyskanych podczas badań laboratoryjnych na nawierzchni Safety Walk i sinusoidalnej wykazało różnice wynoszące jedynie około 10%.



Rys. 11. Termogramy uzyskane dla opony T1117 toczącej się po: A- nawierzchni stalowej, B-nawierzchni Safety Walk i C-nawierzchni sinusoidalnej

Oznacza to, że w samochodzie osobowym wysoki wskaźnik IRI charakteryzujący równość nawierzchni prowadzi przede wszystkim do znacznego wzrostu strat energetycznych w elementach zawieszenia.

W przypadku samochodu ciężarowego droga wybiegu na nawierzchni sinusoidalnej zmniejszyła się jedynie o około 30% w stosunku do drogi uzyskiwanej na nawierzchni równej. Zmierzony przyrost oporu toczenia opon do samochodów ciężarowych (nawierzchnia sinusoidalna w stosunku do Safety Walk) wyniósł również około 30%. Oznacza to, że dla samochodu ciężarowego najważniejszą przyczyną wzrostu strat energii podczas poruszania się na nierównej drodze (wysoki wskaźnik IRI) są straty energii w oponach, a nie w elementach zawieszenia.

Powyższe wyniki uzyskane zostały podczas badań na nierównościach o stosunkowo krótkiej długości fali (0.8 m) i niekoniecznie muszą dobrze odzwierciedlać sytuację podczas jazdy po nierównościach o dużej długości fali. Dla uzyskania bardziej ogólnych wyników konieczne jest przeprowadzenie badań na odcinkach testowych z wymuszeniami sinusoidalnymi o długości fali wynoszącej kilka metrów (np. 3 albo 6 m bo takie długości fal mogą być odwzorowane na maszynie bieżnej). Niestety autorzy nie dysponują drogowym odcinkiem doświadczalnym o takich parametrach. Tym niemniej planowane jest dokonanie modyfikacji maszyny bieżnej w taki sposób, aby możliwe było zamontowanie koła badanego do zawieszenia o parametrach (masy i geometria) zbliżonych do typowego zawieszenia samochodowego. Umożliwi to jednoczesne wykonanie badań oporu toczenia i strat energii w amortyzatorze, co być może ułatwi dalszą analizę wpływu równości nawierzchni na straty energetyczne w oponie i zawieszeniu koła.

Analiza termogramów wskazuje na to, że na nierównych nawierzchniach dla większości opon najbardziej wzrastają straty energetyczne w rejonie stopek opon. Takie zjawisko zaobserwowane zostało zarówno dla opon do samochodów osobowych jak i ciężarowych.

5. Podziękowania

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

Literatura

- [1] Radzikowski M.: *System oceny stanu nawierzchni - SOSN - wytyczne stosowania*, Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad, Załącznik do Zarządzenia Nr 5 z dnia 2010.02.01, Warszawa 2010.
- [2] Mioduszewski P.: *Badanie tekstury nawierzchni drogowej*. Międzynarodowa Konferencja Motoryzacyjna AUTOPROGRES-KONMOT 2002, Pasym k/Olsztyna, 21-24 maja 2002 r. Warszawa: Przem. Inst. Motoryz. 2002 t. 3 Eksploatacja i bezpieczeństwo.
- [3] Sandberg U., Bergiers A., Ejsmont J. A., Goubert L., Karlsson R., Zöller M.: *Road surface influence on tyre/road rolling resistance*. Report MIRIAM_SPI_04, Project MIRIAM, 2011, available at: http://www.miriam-co2.net/Publications/MIRIAM_SPI_Road-Surf-Inf-Report%20111231.pdf
- [4] ISO/CD 13473-1: *Characterization of pavement texture by use of surface profiles – Part 1: Determination of Mean Profile Depth*,
- [5] Ahlin K., Granlund J.: *International Roughness Index, IRI, and ISO 2631 Vibration Evaluation*, Technical Paper prepared for Transportation Research Board, Washinton DC, Jan. 2001
- [6] Ejsmont J., Ronowski G., Wilde W.J.: *Rolling Resistance Measurements at the MnROAD Facility*, Interim Report 2012-07, Minnesota Department of Transportation Research Services Section, 395 John Ireland Blvd., MS 330, St. Paul, MN 55155, USA, available at: <http://www.dot.state.mn.us/research/TS/2012/2012-07.pdf>
- [7] Sandberg U., Ejsmont J.: *Tyre/Road Noise - Reference Book*, INFORMEX, Sweden, 2002.
- [8] Stryjek P., Motrycz G.: *Wpływ tekstury i równości nawierzchni drogowych na straty energetyczne w oponach i zawieszaniach pojazdów samochodowych*, Raport Techniczny Projektu ROLRESRT-1, WITPiS, Sulejówek, 2013.
- [9] Ejsmont J., Taryma S., Ronowski G.: *Tire rolling resistance - measurements on the road and in the laboratory*. Tire Technology International 2008. The Annual Review of Tire Materials and Tire Manufacturing Technology.