

**Sylwia Bęczkowska, Jarosław Korzeb, Seweryn Koziak, Michał Opala,
Andrzej Weysenhoff**

Politechnika Warszawska, Wydział Transportu

NIEJEDNORODNOŚĆ I WADY MATERIAŁOWE OPON SAMOCHODÓW OSOBOWYCH – ZAGADNIENIA WYBRANE

Rękopis dostarczono: marzec 2018

Streszczenie: W artykule dokonano analizy wybranych wad materiałowych i skutków jakie mogą powstawać w wyniku użytkowania wadliwych opon do samochodów osobowych. Omówiono także konstrukcję opony i materiały użyte w trakcie jej produkcji. W artykule Autorzy przedstawili metody badań i dopuszczalne parametry z pomiarów niejednorodności materiałowej opon.

Słowa kluczowe: niejednorodność, opony, drgania

1. WSTĘP

Rynek oponiarski w Polsce, obok Niemczech i Francji, wiodących rynków w branży, jest jednym z najszybciej rozwijających się na całym kontynencie. Jednym z najważniejszych parametrów opony jest zachowanie wysokiej jakości podczas produkcji, która zapewni bezpieczeństwo użytkowników dróg. Niektóre opony mogą posiadać ukryte wady związane z budową, zwane wadami materiałowymi. Wady te wynikają m.in. z błędów procesu produkcyjnego czy nieprawidłowego systemu zarządzania produkcją [15]. W takim przypadku powstaje wadliwy produkt choć w rzeczywistości posiada cechy produktu pełnowartościowego. Powstałe defekty w budowie wynikają z niejednorodności struktury w warunkach drogowych i przekładają się na niewłaściwą eksploatację a w skrajnych przypadkach mogą doprowadzić do wypadku drogowego. Niewłaściwa praca powierzchni tocznej opony z nawierzchnią drogi powoduje zwiększony poziom ciśnienia akustycznego, generowanie drgań zawieszenia, niewłaściwą pracę układu kierowniczego czy przenoszenie drgań na kolumnę kierownicy. Drgania te są odczuwalne przez kierowcę tylko w określonym przedziale prędkości z jaką porusza się pojazd [3,6,7]. Niejednokrotnie ukryte wady pomimo wyważenia koła powodują powstawanie zakresu częstotliwości rezonansowej [3]. W przypadkach skrajnych, wady w budowie opon mogą doprowadzić do rozerwania struktury. Oczywiście takie anomalie obniżają poziom bezpieczeństwa i przekładają się na komfort podróżowania.

Celem artykułu jest omówienie wad materiałowych opon do samochodów osobowych. Artykuł oparto na informacjach pozyskanych od jednego z wiodących producentów opon. Dla pełnego zobrazowania tematu, analiza wad materiałowych została poprzedzona omówieniem najważniejszych zagadnień dotyczących budowy, materiałów oraz funkcji jakie poszczególne elementy spełniają w budowie opony. Ponadto Autorzy dokonali także diagnostyki wybranej opony z ukrytymi wadami materiałowymi i omówili uzyskane wyniki. Badania prowadzone w zakresie prowadzenia koła, zachowania się opony w warunkach dynamicznych były przedmiotem badań takich badaczy jak Lozia Z [8,9,10], w zakresie poprzecznego zachowania się opony między innymi to Luty W. [11, 12]. Na szczególną uwagę zasługuje publikacja autora [1], oraz publikacja [14].

2. CHARAKTERYSTYKA I BUDOWA OPONY

Konstrukcja nowoczesnej opony samochodowej jest skomplikowaną i złożoną strukturą, ponieważ łączy ze sobą wiele elementów gumowych, stalowych i tekstylnych. Każdy z wymienionych materiałów ma różne właściwości, które nadają oponie odpowiednie cechy np. kształt, sztywność, wytrzymałość, tłumienie drgań, odprowadzanie ciepła i ładunków elektrostatycznych [20]. Dobór i jakość materiałów oraz technologia wytwarzania w procesie produkcji mają wpływ na funkcje, jakie musi spełniać każda opona np.: przenoszenie obciążeń pionowych, zapewnienie dobrej kierowności i przyczepności, przenoszenie momentu napędowego i hamującego oraz zapewnienie tłumienia. Opony mają decydujący wpływ na bezpieczeństwo kierowcy i pasażerów, dlatego powinny być wykonane zgodnie z obowiązującymi wymaganiami oraz przejść specjalistyczne badania [22,23,24].

Obecnie klasyczną oponą jest opona radialna, którą przedstawiono na rysunku 1. Każdy element składowy wykonany jest z różnych materiałów i spełnia inne zadania, które omówiono w tabeli 1. Przedstawione na rysunku nr 1 elementy składowe opony to: 1 – warstwa butylowa (wewnętrzna), 2 – osnova (szkielet), 3 – drutówka, 4 – wypełniacz, 5 – pasek wzmacniający, 6 – owijka, 7 – ściana boczna, 8 – opasanie, 9 – bandaż, 10 – bieżnik.



Rys. 1. Fragment opony radialnej z zaznaczonymi elementami dotyczącymi budowy.
Źródło: opracowanie własne na podstawie [19].

Tablica 1

Składowe elementy opony radialnej z podziałem na materiały i funkcje [19,20,21]

L.p.	Składowa opony	Materiał	Zadanie
1.	Warstwa wewnętrzna	Kauczuk butylowy	Zapobiega ulatnianiu się powietrza z wnętrza opony, spełnia rolę dętki w oponach bezdętkowych
2.	Kord tekstylny (osnowa)	Włókna wiskozowe, poliamidowe, poliestrowe, aramidowe i włókna szklane (obłożone gumą w procesie gumowania)	Przeniesienie sił stycznych, wzdłużnych i poprzecznych, - zachowanie kształtu opony, - zapobieganie rozerwaniu się opony pod ciśnieniem roboczym
3.	Drutówka	Wiązka drutów stalowych zalana gumą	Zapewnia prawidłowe osadzenie opony na obręczy, szczelność połączenia oraz dzięki występującym siłom tarcia przenoszenie sił wzdłużnych
4.	Wypełniacz	Kauczuk syntetyczny	Zapewnia stopniowe przejście ze sztywnego obszaru stopki do elastycznego obszaru boku opony, zapewnia dużą sztywność boczną opony
5.	Pasek wzmacniający	Kord nylonowy lub aramidowy zalany kauczukiem	Dodatkowe wzmocnienie w obszarze stopki
6.	Owijka	Kauczuk syntetyczny	Zapobiega erozji stopki opony na styku z obręczą, zapewnia szczelność i mocne połączenie z obręczą koła
7.	Ściana boczna	Kauczuk naturalny	Zapewnia ochronę osnowy, jest odporna na proces starzenia się i wytrzymuje wielokrotne zginanie
8.	Opasanie	Zalany gumą kord stalowy o niciach ułożonych pod niewielkim kątem	Zapewnia odpowiednią wytrzymałość opony. Stabilizuje bieżnik, zapobiega głębokim uszkodzeniom osnowy, w dużym stopniu wpływa na zmniejszenie oporów toczenia
9.	Bandaż	Kord nylonowy zalany w kauczuku	Usztywnienie części czołowej bieżnika umożliwiające uzyskiwanie bardzo dużych prędkości, wpływa na zmniejszenie oporów toczenia i zwiększenie komfortu jazdy
10.	Bieżnik	Mieszanka z syntetycznym lub naturalnym kauczukiem	Część zewnętrzna: żywotność i przyczepność, część wewnętrzna - bazowa: zmniejszenie oporów toczenia, ochrona osnowy i opasania przed mechanicznymi uszkodzeniami

Każdy z elementów składowych nawijany jest w procesie produkcji w postaci przygotowanych pasów, jeden na drugi lub doklejany do siebie. Ten etap nazywa się konfekcjonowaniem. W ten sposób otrzymujemy gotową do końcowego uformowania tzw. „zieloną oponę”. W trakcie procesu wulkanizacji, opona uzyskuje swój ostateczny kształt i wygląd. Ważnym elementem składowym opony jest bieżnik. To jedyna część, która styka się z nawierzchnią. Z informacji zawartych w tablicy 1 wynika, że bieżnik spełnia wiele funkcji. Według dokumentów normatywnych minimalna głębokość rowków w bieżniku wynosi 1,6 mm. W celu zapewnienia bezpieczeństwa, opony należy wymieniać w zależności od ich przeznaczenia przy głębokości rzeźby bieżnika 3 mm dla opon letnich

i 4 mm dla zimowych. Niektórzy z producentów opon wprowadzili wskaźnik głębokości bieżnika opony w postaci piktogramów, kropli wody i płatka śniegu. Wskaźniki informują kierowcę o tym, że osiągnięta została graniczna bezpieczna głębokość rzeźby bieżnika [5]. Po zużyciu się bieżnika, wskaźniki zrównują się z powierzchnią czołową opony, informując iż przyczepność ogumienia uległa znaczącemu pogorszeniu. W związku z tym producent zaleca wymianę ogumienia.

3. WADY MATERIAŁOWE OPON

Produkcja opon jest procesem złożonym wieloetapowym. Każdy z producentów posiada własną, sprawdzoną procedurę wytwarzania opon począwszy od doboru surowców a kończąc na systemie zarządzania jakością produkcji. Niewłaściwa kontrola jakości produkcji przyczynia się do powstawania ukrytych wad zarówno materiałowych oraz geometrycznych. Wady te mogą być widoczne w oponie od momentu jej zakupu lub mogą pojawić się w trakcie użytkowania, przyczyniają się do pogorszenia warunków eksploatacyjnych oraz mają negatywny wpływ na komfort podróżowania. Uszkodzenia w procesie produkcyjnym powstają przeważnie na styku dwóch różnych materiałów i możemy je podzielić na wewnętrzne, zewnętrzne, boczne, czołowe oraz barkowe [1].

Opona w trakcie eksploatacji stanowi interfejs pomiędzy drogą a pojazdem, ponadto ulega procesowi zużycia, które jest zjawiskiem trudnym do przewidzenia. Ma na to wpływ m.in.: temperatura pracy opony, temperatura otoczenia i charakter eksploatacji. Zużycie można podzielić na dwie kategorie: zużycie opon regularne oraz zużycie opon nieregularne. Zużycie opon regularne powstaje równo na całym obwodzie opony. Nierównomierne natomiast ma charakter lokalnych, barkowych, centralnych oraz miejscowych „ubytków”, na czołowej jej powierzchni.

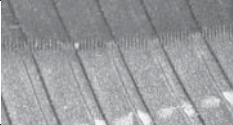




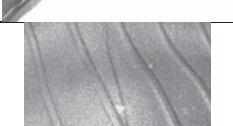





Rys. 2. Przykład zużycia nieregularnego [17].

Największe zużycie występuje głównie na kołach napędzanych. Rysunek 2 przedstawia nieregularne zużycie opony na skutek wad fabrycznych. Wyszczególnione czarne strefy wskazują miejsca bardziej zużyte w stosunku do jaśniejszych. Na podstawie zebranych materiałów, dokonano przeglądu wad ukrytych opon samochodów osobowych oraz przeanalizowano ich przyczyny. Na potrzeby artykułu ograniczono się do omówienia kilku zadaniem autorów artykułu najistotniejszych przykładów. Wszystkie przedstawiane wady dotyczą opon samochodów osobowych, rejestrowanych jako pojazdy nie przekraczające dopuszczalnej masy całkowitej 3449 kg.

Tablica 2

**Uszkodzenia opon związane z błędami niejednorodności struktury w procesie produkcji
(opracowanie własne)**

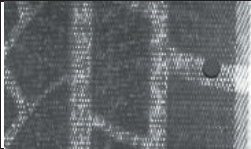
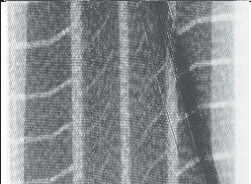
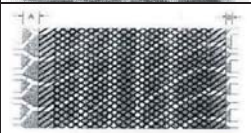
L.p.	Zdjęcie	Nazwa uszkodzenia	Potencjalna przyczyna
1.		Przetłoczenie osnowy karkasu	Źle ustawiona membrana w procesie wulkanizacji lub źle pogumowane kordy osnowy
2.		Rozrzedzenie karkasu	Za bardzo rozciągnięty materiał w miejscu łączenia technologicznego w trakcie produkcji
3.		Otwarte łączenie bieżnika	Nie zachowanie odpowiedniej czystości przy łączeniu pasa bieżnikowego w trakcie produkcji
4.		Separacja bieżnika w części barkowej	Nie zachowanie odpowiedniej czystości (krople wody lub oleju) w trakcie produkcji
5.		Separacja opasania pod bieżnikiem	Nie zachowanie odpowiedniej czystości, zawałcowane skropliny wodne w trakcie produkcji
6.		Otwarte łączenie warstwy butylowej	Źłe zespojenie materiału, źle docięty pas gumy butylowej
7.		Separacja w obrębie stopki	Uszkodzenia powstałe w wyniku dostania się wody lub cieczy olejowych w trakcie produkcji
8.		Odkształcenie bieżnika	Źłe składowanie opony prosto po wyjęciu z formy
9.		Obcy przedmiot wtłoczony podczas wulkanizacji	Brudna forma, nie zachowanie czystości

Źródło: opracowanie własne.

Przedstawione w tabelicy 2 defekty mają bezpośredni wpływ na bezpieczeństwo poruszającego się pojazdu, kierowcy oraz pasażerów [2,4]. Przedstawione błędy są nie zawsze widoczne i na podstawie metod organoleptycznych w sposób dosyć trudny identyfikowalne. Wymagane jest duże doświadczenie i wiedza poparta długoletnią pracą. W tabelicy 3 przedstawiono zdjęcia rentgenowskie klasycznych uszkodzeń w procesie produkcyjnym.

Tabela 3

Klasyczne uszkodzenia w procesie produkcji (opracowanie własne)

L.p.	Zdjęcie	Nazwa uszkodzenia	Potencjalna przyczyna
1.		Zawulkanizowany obcy przedmiot	Niewłaściwy nadzór nad produkcją
2.		Załamanie warstwy osnowy w procesie gumowania stalowych drutów opasania	Niewłaściwy nadzór nad produkcją
3.		Przestawienie opasania na jedną stronę – stożkowatość opony	Źle ustawiona maszyna podająca pas opasania – niecentrycznie

W analizowanych przypadkach defektów opon można stwierdzić, iż tego rodzaju anomalie w głównej mierze przyczyniają się do niewyważenia koła. Oczywiście na niewyważenie składają się również błędy produkcyjne obręczy kół. Przyjmuje się, że dopuszczalna wartość niewyważenia statycznego obręczy ze stopów lekkich wynosi od 25 do 30 gramów. Należy również uwzględnić niewyważenie dynamiczne opony nie przekraczające 40 gramów na stronę. Podczas procesu wyważania koła, należy tak zestawić obręcz z oponą aby niepożądane siły (oraz momenty) przynajmniej w pewnym stopniu znosiły się wzajemnie. Ponadto brak jednorodności w budowie opony może być przyczyną powstawania zmiennej siły promieniowej. Zmienna wartość tej siły wynika z różnicy sztywności opony mierzonej na jej obwodzie [18]. Przestawienie stalowego opasania względem wzdłużnej osi symetrii opony powoduje powstanie tzw. efektu stożka. Poprzez to pojęcie należy rozumieć, że jest to tendencja toczenia się opony w sposób podobny do toczenia się stożka po płaszczyźnie. Można zaobserwować wtedy znoszenie boczne.

Promień czoła napompowanej i założonej na obręcz opony powinien mieć stałą wartość, wady produkcyjne mogą spowodować powstanie bicia promieniowego. Duże bicie promieniowe powoduje wibracje i hałas, zwłaszcza podczas jazdy z dużą prędkością.

4. DIAGNOSTYKA USZKODZENIA OPONY

Geometryczne nieregularności oraz nierównomierna sztywność opony na obwodzie generuje drgania [13]. Drgania te są odczytywane przez układ diagnozujący wyważarki w postaci drgań harmonicznym tzn. drgań powtarzających się przy obrocie koła, np. powtórzenie jednokrotnie – pierwsza harmoniczna, dwukrotnie – druga harmoniczna, trzykrotnie – trzecia harmoniczna. Należy stwierdzić, iż na niewyważenie koła mogą składać się niewyważenie statyczne oraz dynamiczne. Oprócz tego należy wskazać, że zróżnicowane sztywności promieniowe opony generują powstawanie wartości szczytowych na jej obwodzie, a ich rozkład interpretować można jako zmienność siły promieniowej.

Dodatkowe siły przy wyważaniu generowane są przez odkształconą (zgiętą) obręcz koła, odkształconą oponę (ukryte błędy materiałowe), błędy w montażu koła na piaście tj. wadliwe centrowanie lub kombinację wymienionych czynników.

Przemieszczanie się środka obrotu koła jest determinowane przez zmianę sztywności promieniowej koła, co jest odczuwalne w postaci drgań. Taki stan obciążenia jest związany z naturalną pracą opony obciążonej masą pojazdu. Niektóre firmy np. Yokohama, Bridgestone w trakcie produkcji opony oznaczają punkty - najsztwniejsze miejsca kolorowymi kropkami na ścianie bocznej. Tego typu oznaczenie świadczy o tym, że opona przeszła test kontroli fabrycznej a zaznaczone czerwoną kropką miejsce jest najsztwniejszym na całym jej obwodzie. Badania te przeprowadzane są w fabryce na specjalnych urządzeniach pomiarowych [16].

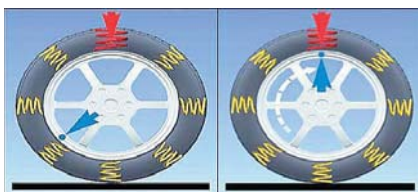
Pomiar niejednorodności materiałowej możliwe jest również przy pomocy specjalnej wyważarki, umożliwiającej przeprowadzenie badania „Tire Non-Uniformity” oraz w trakcie symulacji testu drogowego opony. Na rysunku 3 przedstawiono ww. wyważarkę.



Rys. 3. Wyważarka z zamontowanym obiektem badań. Źródło: opracowanie własne.

Przeprowadzenie pomiaru niejednorodności sztywności opony potwierdza zgodność danych fabrycznych z rzeczywistymi. W praktyce przyjmuje się, że niejednorodności sztywności (pierwszej harmonicznej) nieprzekraczające 50 N [25], nie wiążą się z dyskomfortem czy nadmiernym generowaniem drgań. W przypadku, kiedy wartość pierwszej harmonicznej przekracza 75 N przyjmuje się, że w oponie istnieje prawdopodobieństwo wystąpienia ukrytych defektów fabrycznych wpływających na sztywność promieniową. W takim przypadku należy dokonać „optymalizacji” związanej z odpowiednim ustawieniem koła i obręczy. „Optymalizacja” polega na takiej zmianie wzajemnego położenia opony względem obręczy koła, w wyniku której otrzymujemy zadowalający geometryczny kształt zmontowanego koła oraz pożądane

rozłożenie mas niewyważenia obręczy i opony względem siebie. Jeżeli obręcz nie jest uszkodzona, a jej parametry mieszczą się w zakresie dopuszczalnych parametrów fabrycznych, czyli nie jest przekroczona wartość 0,5 mm dla bicia promieniowego, a całkowite promieniowe odkształcenie opony (wynikające z różnice sztywności opony) w trakcie symulacji testu drogowego przekracza umowną dopuszczalną wartość 100 N, przeprowadzenie procesu optymalizacji będzie niemożliwe [12]. Opona nie nadaje się do eksploatacji i powinna zostać zutylizowana.



Rys. 4. Schemat wzajemnego ustawienia obręczy i opony. Źródło: opracowanie własne.

Koncerny produkujące opony są bardzo powściągliwe w udzielaniu informacji na temat dopuszczalnych wartości wariacji siły oraz poszczególnych harmonicznych. Pod kątem eksploatacyjnym istotna jest również wartość międzyszczytowa poszczególnych harmonicznych. Generowanie takich danych podkreśla tylko istotę problemu związanego z niejednorodnością materiałową. Określona jest również wartość szczytkowego niewyważenia statycznego i dynamicznego. Koło powinno być wyważone z dokładnością do 5 g.

W ramach prowadzonych autorskich badań, badano oponę przeznaczoną do eksploatacji w warunkach letnich o parametrach 205/60 R 16 92V DOT:1017. Na rysunku 5 przedstawiono wartości poszczególnych harmonicznych z zaznaczonymi na czerwono wartościami ponadnormatywnymi.

Pomiary i dopuszczalne limity						
Pomiary	Wariacja Siły			Bicie obręczy		
	Opona	Koło	Limit	Lewy	Prawy	Limit
1 harmon. bicia promien.	80 N	85 N	90 N	0.01 mm	0.24 mm	0.66 mm
2 harmon. bicia promien.	40 N	40 N	90 N	0.06 mm	0.03 mm	0.66 mm
3 harmon. bicia promien.	15 N	15 N	80 N	0.03 mm	0.03 mm	0.61 mm
Promien. odkształc. calc.	115 N	105 N	90 N	0.14 mm	0.35 mm	2.03 mm
1 harmon. bicia osiowego				0.04 mm	0.07 mm	1.17 mm
2 harmon. bicia osiowego				0.08 mm	0.01 mm	1.17 mm
3 harmon. bicia osiowego				0.01 mm	0.03 mm	1.12 mm
Osiowe odkształc. calc.				0.24 mm	0.13 mm	2.21 mm

Rys. 5. Wartości poszczególnych harmonicznych uzyskanych podczas badania. Źródło: opracowanie własne.

Przedstawione na rys. 5 wartości poszczególnych harmonicznych jednoznacznie wskazują na przekroczenie wartości dopuszczalnych. Opona względem obręczy koła powinna zostać obrócona w celu minimalizacji niejednorodności materiałowej (zmiana

sztwności promieniowej opony) oraz wyważona. Na rysunku 6 przedstawiono realizację procesu „optymalizacji” związanego z prawidłowym ułożeniem opony względem obręczy.



Rys. 6. Proces ustawiania opony względem obręczy koła. Źródło: opracowanie własne.

W ramach procesu wzajemnego usytuowania obręczy i opony doprowadzamy do sytuacji w której minimalizujemy wpływ niejednorodności struktury opony przez co uzyskujemy akceptowalne wartości poszczególnych harmonicznych. Stan po „optymalizacji” został przedstawiony na rysunku 7.



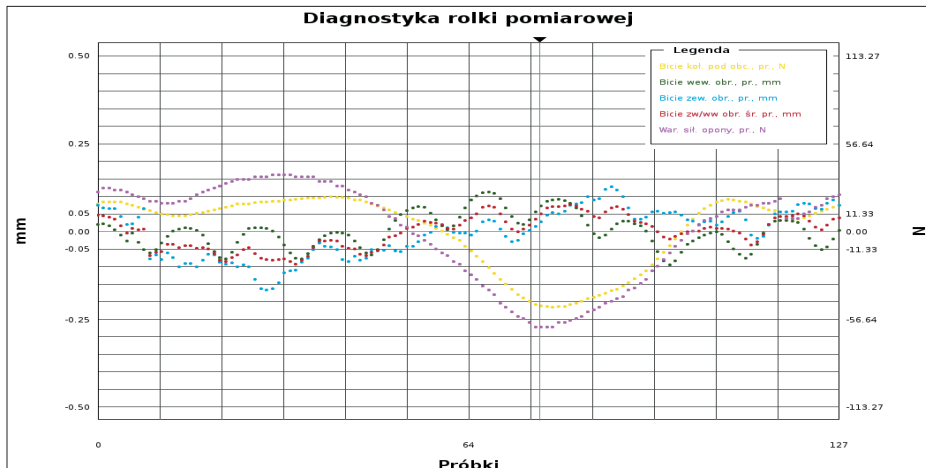
Rys. 7. Poprawne usytuowanie opony względem obręczy. Źródło: opracowanie własne.

Przedstawione na rysunku 7 parametry (żółta ramka z wartością siły) określają przedział wartości uzyskanych w procesie ustawiania „optymalizowania” położenia opony względem felgi. W zielonej ramce na tym samym rysunku wartości obrazują nam w jaki sposób jeszcze możemy zmniejszyć wartość siły promieniowej. Natomiast na rysunku 8 przedstawiono wartości siły poszczególnych harmonicznych uzyskanych dla badanej opony. Oprócz wartości harmonicznych mierzone są również odkształcenia obręczy. Odkształcenia powstałe są z reguły skutkiem nagłego działania sił zewnętrznych np. uderzeń. Parametrem diagnozującym tę anomalię jest pomiar bicia promieniowego i osiowego obręczy. Wartości dopuszczalne wspomnianych parametrów podawane przez producentów samochodów zwykle nie przekraczają wartości od 0,5 mm do 1,0 mm.

Pomiary i dopuszczalne limity						
Pomiary	Wariacja Siły			Bicie obręczy		
	Opona	Koło	Limit	Lewy	Prawy	Limit
1 harmon. bicia promien.	75 N	55 N	90 N	0.06 mm	0.17 mm	0.66 mm
2 harmon. bicia promien.	40 N	35 N	90 N	0.09 mm	0.01 mm	0.66 mm
3 harmon. bicia promien.	10 N	10 N	80 N	0.02 mm	0.04 mm	0.61 mm
Promien. odkształc. całk.	85 N	70 N	90 N	0.21 mm	0.29 mm	2.03 mm
1 harmon. bicia osiowego				0.09 mm	0.17 mm	1.17 mm
2 harmon. bicia osiowego				0.04 mm	0.04 mm	1.17 mm
3 harmon. bicia osiowego				0.01 mm	0.03 mm	1.12 mm
Osiowe odkształc. całk.				0.21 mm	0.29 mm	2.21 mm

Rys. 8. Akceptowalne wartości poszczególnych harmoniczných. Źródło: opracowanie własne.

Odształcenia w kierunku promieniowym do 1,0 mm mogą poprawić równobieżność koła w przypadku redukcji wad promieniowych opony związanych z sztywnością promieniową opony. Wymieniana przez autorów „optymalizacja” sprowadza się do równoważenia punktu w którym występuje maksymalne promieniowe bicia opony z punktem minimalnego promieniowego bicia obręczy [12]. Na rysunku 9 przedstawiono kolejno przebiegi: bicia promieniowe kompletnego koła pod obciążeniem (o wartości 3800N) w [N], bicia promieniowe wewnętrzne obręczy w [mm], bicia promieniowe zewnętrzne obręczy w [mm], bicia zewnętrzne/wewnętrzne promieniowe obręczy - uśrednione [mm] wartość całkowitego promieniowego odkształcenia samej opony – wariacja siły generowana przez oponę w [N].



Rys. 9. Przebiegi wartości sił i przemieszczeń „bicia” obręczy koła. Źródło: opracowanie własne.

5. PODSUMOWANIE

Uszkodzenia, defekty fabryczne opon można zauważyć na etapie końcowym produkcji. Odpowiednio wcześniej wykryte wady fabryczne pozwalają eliminować opony nie nadające się do eksploatacji. Badana opona posiada ukryte wady materiałowe i stanowi dobry przykład w jaki sposób można niwelować w wąskim zakresie wady materiałowe poprzez niedoskonałości obręczy. Odpowiednio wykryty błąd na etapie produkcji może zostać usunięty zanim opona trafi na sprzedaż i finalnie do eksploatacji [17].

Nieświadomość użytkowników samochodów osobowych i niedostateczna wiedza w zakresie poprawności wyważenia koła powoduje w efekcie niewłaściwe zużywanie się powierzchni tocznej opony. Ponadto powstawanie częstotliwości rezonansowej na skutek promieniowego bicia opony może doprowadzić do odczuwalnych drgań na kole kierowniczym co może prowadzić do błędnych wniosków w zakresie awarii elementów zawieszenia czy układu kierowniczego. Rejestracja poszczególnych harmonicznym na stanowisku badawczym umożliwia poprawną diagnozę problemu. Natomiast generowanie poszczególnych harmonicznym podkreśla tylko istotę problemu związanego z niejednorodnością materiałową. Warto podkreślić iż w przypadku samochodów dostawczych oraz samochodów typu SUV wartości graniczne poszczególnych harmonicznym są większe, zwykle odpowiednio o 50 i 20 % [16].

Poruszana przez Autorów artykułu problematyka badawcza jest przedmiotem dalszych i szerszych badań, a prezentowane wyniki badań odnoszą się tylko do wybranych aspektów, które zostały przedstawione w ramach pracy nad artykułem.

Podziękowania

Przedstawiane w artykule badania realizowane są z wykorzystaniem urządzenia firmy Hunter Model DSP 7200 z testem drogowym, przy współpracy z Centrum Diagnostyki Samochodowej w Warszawie. Do badań wykorzystano też sprzęt badawczy zakupiony w ramach projektu MONIT - „Monitorowanie Stanu Technicznego Konstrukcji i Ocena jej Żywotności” to projekt badawczy realizowany w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka (PO IG) Poddziałanie 1.1.2 Strategiczne programy badań naukowych i prac rozwojowych, a także z wykorzystaniem aparatury badawczej zakupionej w ramach realizacji indywidualnych projektów badawczych.

Bibliografia

1. Andrzejewski R.: Dynamika pneumatycznego koła jezdnego. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne. Warszawa 2010.
2. Augustynowicz A.: Modelowanie typu kierowcy samochodu. Oficyna Wydawnicza Politechniki Opolskiej, Opole 2009.
3. Bajer Cz. Metoda elementów czasoprzestrzennych w obliczeniach dynamiki konstrukcji, Wydawnictwo IPPT PAN, Warszawa 2009, rozdział 8, str. 205-238.
4. Jaworski J.: Guma w pojazdach mechanicznych. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności. Warszawa 1976.
5. Jackowski J., Prochowski L.: Zestaw metodyk badawczych ogumienia. WAT 1993.

6. Kardas-Cinal E., Lozia Z., Więckowski D.: Porównanie poziomu symulowanych drgań oddziałujących na dziecko przewożone samochodem lub pojazdem szynowym, w: Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej. Transport, nr 112, 2016.
7. Korzeb Jarosław: Analiza drgań komunikacyjnych z zastosowaniem teorii falek, w: Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej. Transport, vol. 1, nr 77, 2011.
8. Lozia Z., Guzek M.: Metody badań stateczności i kierowności pojazdów samochodowych. Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej, Transport z. 34, 1995.
9. Lozia Z.: Czy opis stanów nieustalonych ogumienia w symulacji ruchu pojazdów ma znaczenie praktyczne?. The Archives of Automotive Engineering – Archiwum Motoryzacji, vol. 77, no. 3, 2017.
10. Lozia Z.: Symulator jazdy samochodem. WKŁ, Warszawa, 2008.
11. Luty W.: Nieustalone stany bocznego znoszenia ogumienia. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2017.
12. Luty W., Simiński P.: Analiza sprężystości promieniowej ogumienia z wkładką „run-flat”. Journal of Kones, Powertrain and Transport, vol. 14, no. 2, 2007.
13. Łazarz B., Madej H., Czech P.: Wpływ ogumienia na drgania ogólne w samochodzie. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Seria Transport z. 57 / 2005, str. 197-203.
14. Pacejka H.B.: Tyre and vehicle dynamics. Butterworth – Heinemann, 2006.
15. Pelc J.: Modelowanie skończonych deformacji opon pneumatycznych. Wydawnictwo Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego, Olsztyn 2007.
16. Suffeleers J.: Tyre non-uniformities and their effect on chassis vibrations. Technische Universiteit Eindhoven, Eindhoven, 2010.
17. Veen J.: An analytical approach to dynamic irregular tyre wear. Wydawnictwo Technische Universiteit Eindhoven, Eindhoven, 2007.
18. PN-ISO 13326:2002 - Metody pomiaru jednorodności opony.
19. PN-C-94300-48:1997 - Ogumienie -- Wymiary i charakterystyka techniczna opon do samochodów osobowych i przyczep (serie oznaczone kodem).
20. PN-ISO 4223-1:2006 - Definicje niektórych terminów używanych w przemyśle oponiarskim -- Część 1:
21. PN-ISO 4000-1:2005 - Opony i obręcze do samochodów osobowych -- Część 1: Opony (serie metryczne).
22. EKG ONZ, Badania trwałości ogumienia wg regulaminu ECE nr 106, 108, 109.
23. EKG ONZ, Regulamin ECE nr 124 - Badania wytrzymałości zmęczeniowej kół tarczowych na obciążenia promieniowe.
24. SAE J267 Wheels/Rims - Truck and Bus - Performance Requirements and Test Procedures for Radial and Cornering Fatigue.
25. <http://www.euwa.org/standards/technical-specifications>.

NON-UNIFORMITIES AND DEFECTS IN MATERIALS OF PASSENGER CAR TYRES-SELECTED ISSUES

Summary: The article analyses the selected defects and consequences which may result from the use of defective tires for passenger cars. It also describes the assembly of the tires and the materials used in its production. In the article the authors presented their research methods and acceptable parameters of the measurements of non-uniformity of materials.

Keywords: non-uniformities, tires, vibrations