

WPŁYW CIŚNIENIA W KOLE PNEUMATYCZNYM NA SKUTECZNOŚĆ TŁUMIENIA DRGAŃ W UKŁADZIE ZAWIESZENIA POJAZDU

Streszczenie

W pracy zidentyfikowano czynniki mające wpływ na proces tłumienia drgań w zawieszeniu pojazdu samochodowego. Przygotowano metodykę badań eksperymentalnych, których celem było wyznaczenie zależności między ciśnieniem w oponach pneumatycznych i wartością wskaźnika EUSAMA. Testom poddano 10 losowo wybranych pojazdów o różnych rodzajach kół pneumatycznych. Pomiary realizowano dla ciśnienia nominalnego i obniżonego o 10%, 20%, 30% i 40%, a także przy ciśnieniu podwyższonym o 10%. Wykonano wizualizację wyników zarejestrowanych w czasie badań i na ich podstawie wygenerowano równania opisujące zależność ciśnienia w oponach pneumatycznych i wartością wskaźnika EUSAMA. Przeprowadzone analizy wykazały, że zmiany ciśnienia w oponie, w badanym zakresie mogą spowodować podwyższenie wartości wskaźnika EUSAMA nawet o 35%.

WSTĘP

Właściwie eksploatowane zawieszenia pojazdu samochodowego powinno zapewniać wysoki komfort podróży przy zachowaniu bezpieczeństwa. Stopień tłumienia sił przez zawieszenie, wywołanych nierównościami podłoża po którym porusza się samochód ulega zmianie w toku eksploatacyjnym.

Intensywność tych zmian uzależniona jest głównie od [1]:

- przyjętych rozwiązań konstrukcyjnych (głowica wodząca, oś wahliwa, poprzeczny resor piórowy, wahacz podłużny, wahacz poprzeczny, niezależne zawieszenie, niezależne zawieszenie hydropneumatyczne, niezależne zawieszenie na drążkach skrętnych, amortyzatory: hydrauliczne, hydropneumatyczne, magnetyczne, pneumatyczne, elektromagnetyczne, cierne, elastomerowe, powietrzne, gumowe, sprężynowe, itp.) [7],
- jakości wykonania podzespołów zawieszenia,
- uwarunkowań środowiskowych (stan nawierzchni dróg),
- przebiegu pojazdu;
- stylu prowadzenia pojazdu,
- zastosowanych kół pneumatycznych,
- ciśnienia pompowania kół pneumatycznych.

Poszczególne podzespoły pojazdu można podzielić na masy nieresorowane i resorowane. Masy nieresorowane to takie elementy pojazdu, które podlegają bezpośrednio działaniu sił wymuszających wywołanych nierównościami drogi (koła, bębny hamulcowe, tarcze, osie, itp.). Do mas resorowanych zaliczamy pozostałe elementy takie jak: rama, silnik, nadwozie i inne, których ruch jest znacznie bardziej płynny wskutek izolującego działania zawieszenia [1, 3, 9]. W typowych pojazdach samochodowych masy nieresorowane stanowią 15% masy resorowanej [3]. Masy nieresorowane w pojazdach samochodowych, wbrew przyjętej nazwie, nie podlegają całkowitym wymuszeniom generowanym w procesie współpracy koła z podłożem. Duży wpływ na wartość generowanych sił wymuszeń ma sztywność i tłumienie ogumienia, które najłatwiej można opisać używając modelu Kelvina [5, 6, 10, 11]. Koło pneumatyczne w tym przypadku spełnia takie samo zadanie w stosunku do mas nieresorowanych, jakie zawieszenie w stosunku do mas resorowanych [7]. Podczas pokonywania przeszkody (np. kamień), w pierwszej kolejności ugięciu podlega opona pneumatyczna, co łagodzi wartość siły wymuszenia od podłoża działającej na masę nieresorowaną. Ruch tej masy powoduje ugięcie zawieszenia i pojawienie

się sił sprężystości wywołanych ściśnięciem elementów sprężystych, znajdujących się między masą nieresorowaną i masą resorowaną [1].

Na skuteczność tłumienia drgań przez oponę pneumatyczną mają wpływ następujące czynniki [4, 6, 8, 10, 11]:

- konstrukcja wewnętrzna opony,
- rozmiar opony,
- stopień zużycia opony,
- ciśnienie pompowania,
- obciążenie (promieniowe, osiowe, obwodowe),
- prędkość obrotowa koła,
- rodzaj podłoża (droga asfaltowa, droga betonowa, droga gruntowa, itp.).

W czasie eksploatacji pojazdu istotne jest utrzymywanie odpowiedniego ciśnienia w oponie pneumatycznej. Optymalne pod względem komfortu i bezpieczeństwa ciśnienie pompowania, zależy od: rodzaju opony, rozmiaru i jej obciążenia. W czasie użytkowania ciśnienie w oponie ulega zmianom. Na ich wielkość wpływ mają: szczelność konstrukcji, obciążenie i zmiany temperatury otoczenia. Należy pamiętać, że zmiana ciśnienia w ogumieniu wynikająca ze zmian temperatury środowiska roboczego może wynosić nawet 0,4 bara. Niewłaściwe ciśnienie w oponie (zarówno zbyt niskie, jak i zbyt wysokie) zaburza prawidłowy przebieg procesu użytkowania pojazdu. Zbyt niskie ciśnienie w oponie pneumatycznej powoduje:

- zwiększone opory toczenia, co wpływa na dynamikę jazdy i zużycie paliwa (zmniejszenie o 1 bar ciśnienie powoduje wzrost zużycia paliwa o 6%) [13],
- zwiększone zużycie opon (nadmierne zużycie bieżnika na bokach, możliwość zniszczenia termicznego opony) [4],
- zwiększenie ryzyka utraty szczelności koła pneumatycznego (wartość graniczna przy jakiej wzrasta znacząco ryzyko rozszczelnienia wynosi 0,5 bara poniżej optymalnego ciśnienia pompowania) [13];
- zmniejszenie stateczności pojazdu (zmniejszenie ciśnienia o 1 bar powoduje obniżenie prędkości pokonywania łuków o około 10 km/h) [13],
- wzrost ryzyka wystąpienia aquaplaningu (obniżenie ciśnienia o 30% znacząco podwyższa ryzyko aquaplaningu) [13],
- wydłużenie drogi hamowania (zmniejszenie ciśnienia o 1 bar powoduje wydłużenie drogi hamowania o 5m) [13],

- zwiększenie obwodowej siły przenoszonej z koła na podłoże,
 - zmniejszenie sił wymuszających od podłoża działających na masy nieresorowane [3],
 - zmniejszenie drgań mas resorowanych [1, 3].
- Zbyt wysokie ciśnienie w oponie pneumatycznej powoduje:
- zwiększone zużycie opon (nadmierne zużycie środkowej części bieżnika) [4],
 - zmniejszenie pola powierzchni styku koła z podłożem i przyczepności do podłoża [8],
 - zmniejszenie oporów toczenia,
 - zmniejszenie skuteczności tłumienia sił wymuszających działających na masy resorowane i nieresorowane [3].

Określenie zależności między ciśnieniem w kole pneumatycznym, a skutecznością tłumienia drgań w układzie zawieszenia pozwoli opracować bazę wiedzy potrzebną przy budowie modeli pojazdów [12]. Modele tego typu umożliwią badania zachowania pojazdów w przestrzeni wirtualnej, przy nieprawidłowej eksploatacji kół pneumatycznych, a także wpływu ciśnienia w oponie na trwałość podzespołów będących masami resorowanymi i nieresorowanymi. Dalsze analizy mają za zadanie osiągnięcie tego celu.

1. METODYKA BADAŃ

Celem przeprowadzonych badań było określenie wpływu ciśnienia w oponie na stopień tłumienia przez zawieszenie pojazdu sił wymuszających od podłoża. Badania przeprowadzono metodą drgań wymuszonych na stanowisku do diagnostyki podwozi samochodowych SCREEN-TEST-LINE 7000 [2].

Jako miarę stopnia tłumienia drgań przyjęto wskaźnik EUSAMA:

$$W = \frac{N_d}{N_s} \cdot 100\% \quad (1)$$

gdzie:

N_d - minimalny nacisk dynamiczny koła na podłoże [N],
 N_s - statystyczny nacisk koła na podłoże [N].

Badanie metodą EUSAMA obejmuje:

- pomiar nacisku statycznego kół na podłoże,
- wymuszenie drgań zawieszenia o częstotliwości 25 Hz i skoku 6 mm trwające około 5s,
- pomiar nacisku dynamicznego w trakcie wygasania drgań,
- wyznaczenie minimalnej skuteczności tłumienia.

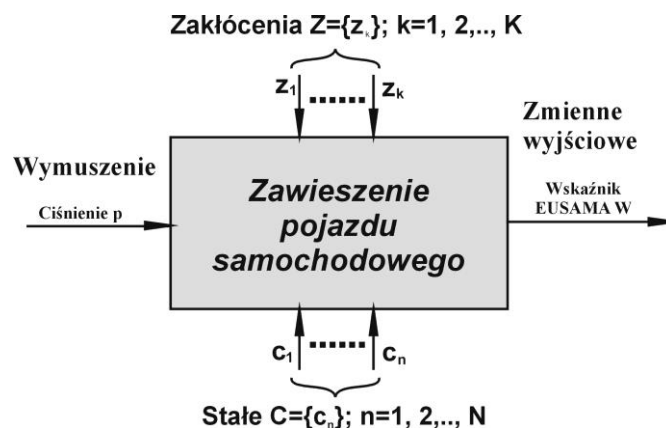
Kryterium oceny stanu zawieszenia pojazdu badanego metodą EUSAMA określiło Europejskie Stowarzyszenie Producentów Amortyzatorów:

- 0...20% - niedostateczna skuteczność,
- 21...40% - średnia skuteczność,
- 41...60% - dobra skuteczność,
- powyżej 60% - bardzo dobra.

Wartości wskaźnika EUSAMA nie osiąga 100%, gdyż taka wartość występuje przy zawieszeniu idealnie sprężystym.

Aby osiągnąć założony cel przyjęto model eksperymentalny w postaci przedstawionej na rys. 1.

W przyjętym modelu zmiana wartości wymuszeń realizowana jest bezpośrednio przez zmianę ciśnienia w oponie pneumatycznej.



Rys. 1. Zawieszenie pojazdu samochodowego jako przedmiot badań

W przyjętym modelu zbiór stałych C ma postać:

$$C = \begin{bmatrix} c_1 \\ \cdot \\ \cdot \\ c_N \end{bmatrix} n = 5 \quad (2)$$

gdzie:

- c_1 – temperatura otoczenia,
- c_2 – masa pojazdu,
- c_3 – ciśnienie atmosferyczne,
- c_4 – typ i rozmiar opony,
- c_5 – stopień zużycia opony.

W przyjętym modelu zbiór zakłóceń Z ma postać:

$$Z(t) = \begin{bmatrix} z_1 \\ \cdot \\ z_K \end{bmatrix} K = 3 \quad (3)$$

gdzie:

- z_1 – niejednorodność konstrukcyjna opony,
- z_2 – błąd pomiarowy stanowiska badawczego,
- z_3 - zmienność środowiska pomiarowego (np. temperatura).

Obserwacja zmiany wymuszenia i odpowiadającej jej zmiennej wyjściowej była realizowana metodą bezpośrednią. Dokładność pomiaru ciśnienia realizowana była na poziomie 0,1 bara, a wskaźnik EUSAMA wyznaczano z dokładnością do 1 %.

Badania przeprowadzono na grupie dziesięciu samochodów osobowym o zróżnicowanej konstrukcji i przebiegu:

- Audi 80 sedan (rok produkcji - 1990, przebieg - 208244 km, opony przednie - Michelin Energy 185/70R15, opony tylne - Firestone F630 185/70R14),
- Audi A4 kombi (rok produkcji - 2004, przebieg - 258836 km, opony - Uniroyal Rain Expert 205/65R16),
- Fiat Seicento S hatchback (rok produkcji - 1999, przebieg - 170280 km, opony - Daytona D110 145/70R13),
- Mercedes-Benz E320 sedan (rok produkcji - 2003, przebieg - 190485 km, opony - Goodyear Excellence 225/55ZR16),
- VW Passat sedan (rok produkcji - 1998, przebieg - 192332 km, opony - Barum Bravuris 205/55R16),

- VW Passat kombi (rok produkcji - 1998, przebieg - 216259 km, opony przód - Continental ContiSportContact 3 225/45R17, opony tył - Dunlop SP Sport 9000 225/45ZR17),
- Skoda Octavia sedan (rok produkcji - 2003, przebieg - 201891 km, opony - Barum Brilliantis II 175/80R14),
- Peugeot Partner van (rok produkcji - 2011, przebieg - 13414 km, opony - Continental ContiPremiumContact 2 205/65R15),
- VW Transporter van (rok produkcji - 2003, przebieg - 406554 km, opony - Vanpro Maxxi 205/65R16C),
- Volvo V70 kombi (rok produkcji - 2004, przebieg - 128211 km, opony przód - Infinity INF-05 215/55R16, opony tył - Continental ContiPremiumContact 2 205/65R15).

Pomiary realizowano dla ciśnienia nominalnego (zalecanego przez producenta pojazdu) i obniżonego o 10%, 20%, 30% i 40%, a także przy ciśnieniu podwyższonym o 10%. Dla dziesięciu samochodów sporządzono karty identyfikacji badanego pojazdu i opon.

2. BADANIA EKSPERYMENTALNE

Badania eksperymentalne przeprowadzono zgodnie z opracowaną metodyką na stacji diagnostycznej należącej do Katedry Budowy Eksploatacji Pojazdów i Maszyn UWM w Olsztynie. Na rysunku 2 przedstawiono widok jednego z badanych pojazdów (Audi A4 kombi) na ścieżce diagnostycznej.



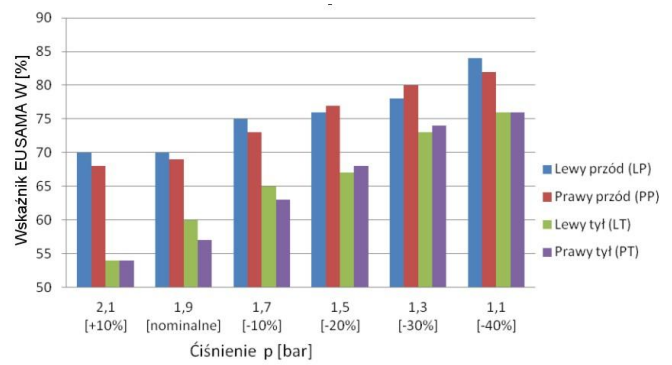
Rys. 2. Widok pojazdu w czasie realizowanych badań [1]

Na rysunku 3 przedstawiono widok interfejsu graficznego aplikacji do wyznaczania wskaźnika EUSAMA.

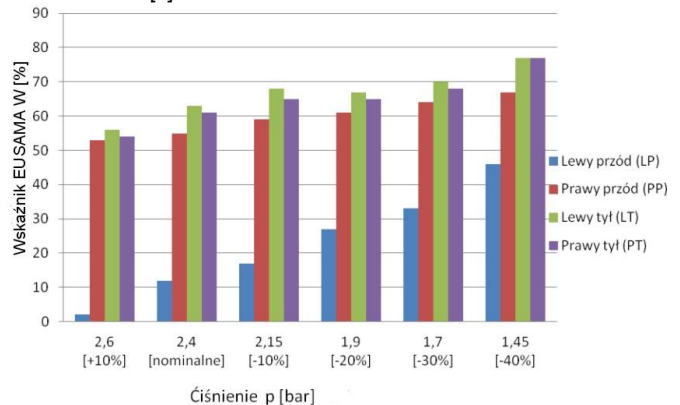


Rys. 3. Widok interfejsu graficznego aplikacji do wyznaczania wskaźnika EUSAMA

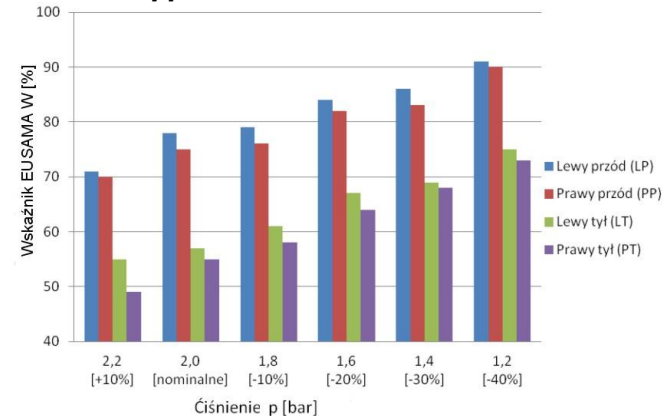
Na rysunkach 4-13 przedstawiono wizualizację zarejestrowanych w czasie badań wartości wskaźnika EUSAMA dla poszczególnych pojazdów biorących udział w badaniu.



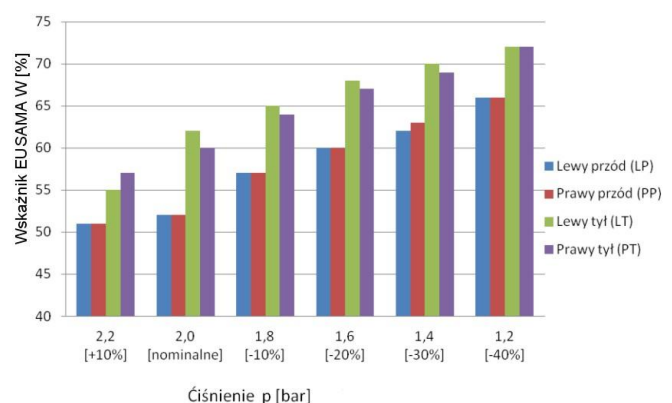
Rys. 4. Wpływ ciśnienia w oponie na wartość wskaźnika EUSAMA - Audi 80 sedan [1]



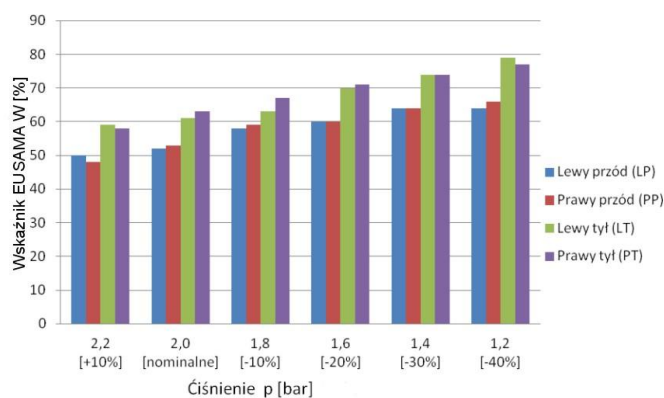
Rys. 5. Wpływ ciśnienia w oponie na wartość wskaźnika EUSAMA - Audi A4 kombi [1]



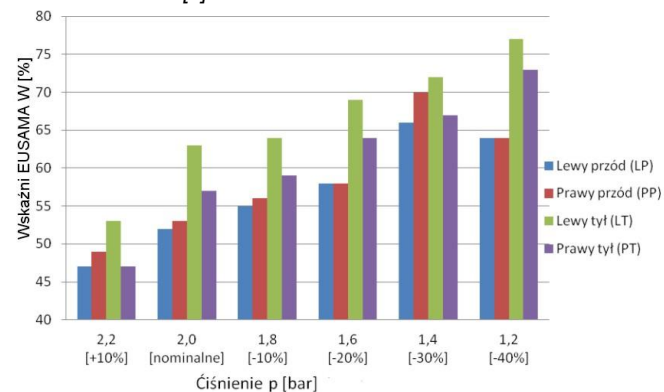
Rys. 6. Wpływ ciśnienia w oponie na wartość wskaźnika EUSAMA - Fiat Seicento S hatchback [1]



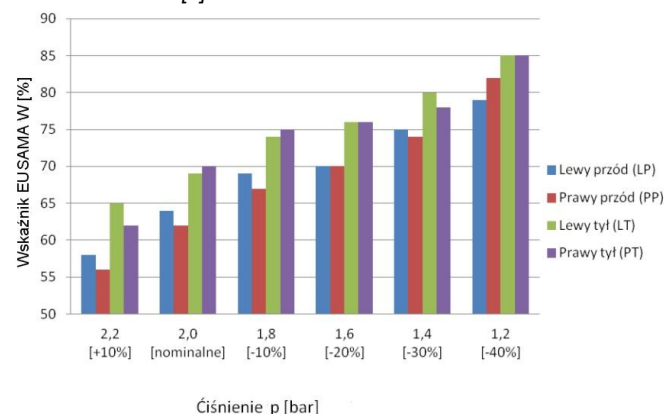
Rys. 7. Wpływ ciśnienia w oponie na wartość wskaźnika EUSAMA - Mercedes-Benz E320 sedan [1]



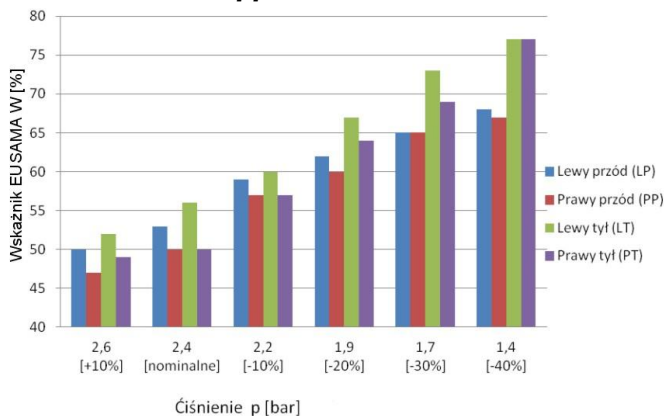
Rys. 8. Wpływ ciśnienia w oponie na wartość wskaźnika EUSAMA - VW Passat sedan [1]



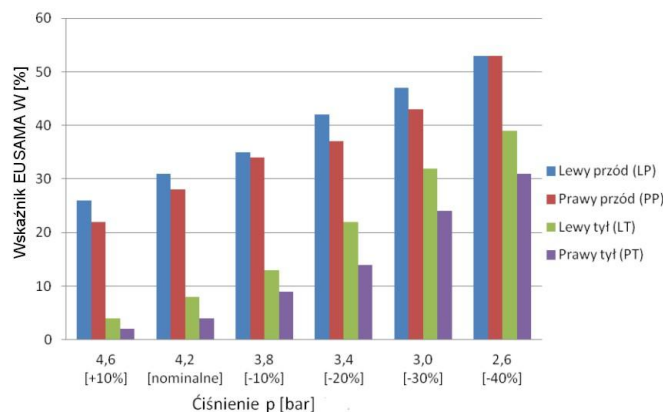
Rys. 9. Wpływ ciśnienia w oponie na wartość wskaźnika EUSAMA - VW Passat kombi [1]



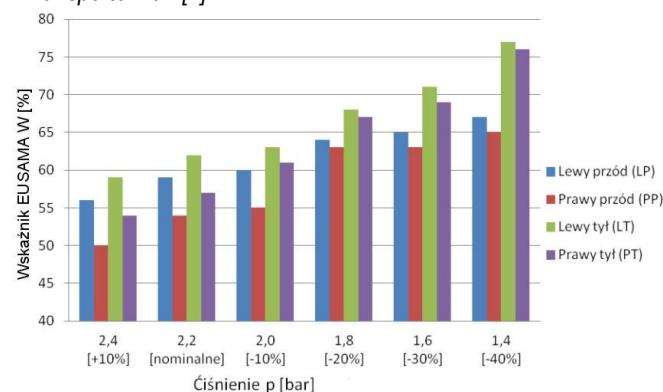
Rys. 10. Wpływ ciśnienia w oponie na wartość wskaźnika EUSAMA - Skoda Octavia sedan [1]



Rys. 11. Wpływ ciśnienia w oponie na wartość wskaźnika EUSAMA - Peugeot Partner van [1]



Rys. 12. Wpływ ciśnienia w oponie na wartość wskaźnika EUSAMA - VW Transporter van [1]



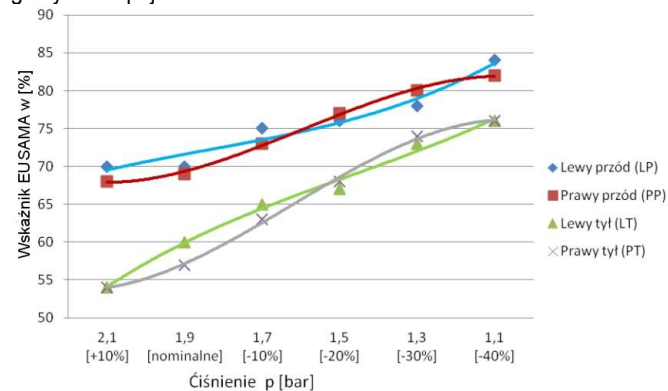
Rys. 13. Wpływ ciśnienia w oponie na wartość wskaźnika EUSAMA - Volvo V70 kombi [1]

3. ANALIZA WYNIKÓW BADAŃ

Wyniki uzyskane w czasie badań eksperymentalnych zostały wykorzystane do opracowania indywidualnych modeli matematycznych opisujących zależność wskaźnika EUSAMA od ciśnienia w oponie. Ze względu na ograniczenia związane z formatem artykułu w dalszej części przedstawiono analizy wykonane dla ośmiu badanych pojazdów.

3.1. Audi 80 sedan

Na rysunku 14 przedstawiono wizualizację zależności wartości współczynnika EUSAMA od ciśnienia w oponie oraz linie trendu, a w tabeli 1 równania opisujące wyznaczone linie trendu dla poszczególnych kół pojazdu.



Rys. 14. Wpływ ciśnienia w oponie na wartość wskaźnika EUSAMA oraz przebiegi funkcji opisujących tę zależność - Audi 80 sedan [1]

Tab. 1. Równania opisujące wyznaczone linie trendu - Audi 80 sedan [1]

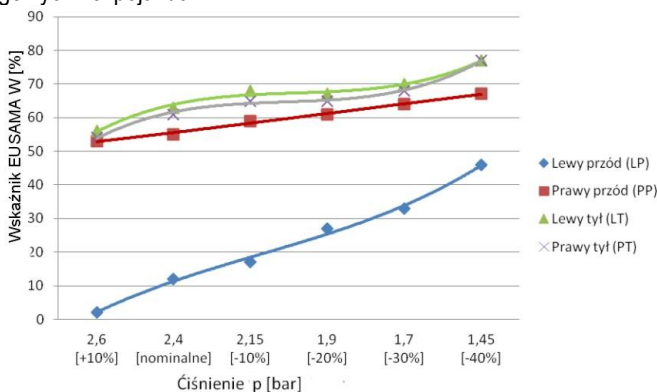
Koło	Równanie $W=f(p)$	R^2
Lewy przód (LP)	$W = 0,092 \cdot p^3 - 0,650 \cdot p^2 + 3,399 \cdot p + 66,66$	0,955
Prawy przód (PP)	$W = -0,213 \cdot p^3 + 2,254 \cdot p^2 - 3,818 \cdot p + 69,66$	0,998
Lewy tył (LT)	$W = 0,101 \cdot p^3 - 1,26 \cdot p^2 + 8,918 \cdot p + 46,33$	0,991
Prawy tył (PT)	$W = -0,268 \cdot p^3 + 2,730 \cdot p^2 - 3,144 \cdot p + 54,66$	0,998

Linie trendu widoczne na rysunku 14 charakteryzuje podobny przebieg dla kół lewej i prawej strony co świadczy o równomiernym zużyciu podzespołów zawieszenia pojazdu. Wartość wskaźnika EUSAMA wyznaczona dla przedniej i tylnej osi różni się znacząco, a wielkość tej różnicy wynosi około 16%. Stan zawieszenia kół przednich można uznać za bardzo dobry, zaś tylnego za oscylujący na granicy stanów dobrego i bardzo dobrego.

Przy ciśnieniu wyższym o 10% od nominalnego siła tłumienia maleje od 0 do 1% dla kół przednich i od 3 do 6% dla kół tylnych. Gdy ciśnienie zostanie zmniejszone o 10%, siła tłumienia wzrasta o około 5%. Przy zmniejszeniu ciśnienia o 40 % wskaźnik EUSAMA wzrasta od 14 do 19%, w stosunku do wartości odnotowanej dla ciśnienia nominalnego. W rozpatrywanym przypadku można stwierdzić, że wskaźnik EUSAMA wzrasta prawie proporcjonalnie w stosunku do zmian ciśnienia w oponie.

3.2. Audi A4 kombi

Na rysunku 15 przedstawiono wizualizację zależności wartości współczynnika EUSAMA od ciśnienia w oponie oraz linie trendu, a w tabeli 2 równania opisujące wyznaczone linie trendu dla poszczególnych kół pojazdu.



Rys. 15. Wpływ ciśnienia w oponie na wartość wskaźnika EUSAMA oraz przebiegi funkcji opisujących tę zależność - Audi A4 kombi [1]

Tab. 2. Równania opisujące wyznaczone linie trendu - Audi A4 kombi [1]

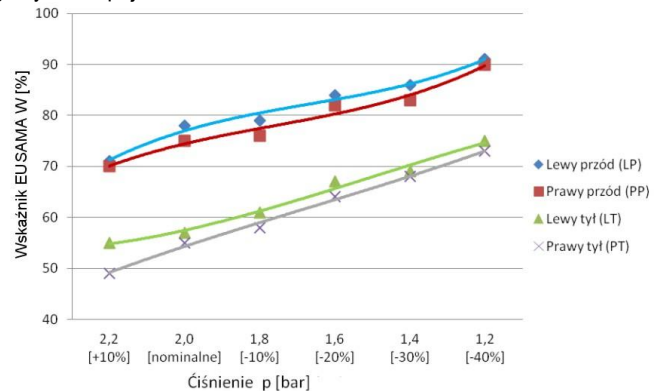
Koło	Równanie $W=f(p)$	R^2
Lewy przód (LP)	$W = 0,305 \cdot p^3 - 2,869 \cdot p^2 + 15,68 \cdot p - 11$	0,995
Prawy przód (PP)	$W = -0,009 \cdot p^3 + 0,115 \cdot p^2 + 2,410 \cdot p + 50,33$	0,994
Lewy tył (LT)	$W = 0,555 \cdot p^3 - 5,976 \cdot p^2 + 22,18 \cdot p + 39$	0,988
Prawy tył (PT)	$W = 0,611 \cdot p^3 - 6,309 \cdot p^2 + 22,50 \cdot p + 37$	0,996

Analizując przebiegi zamieszczone na rysunku 15 stwierdzono niezdatność techniczną amortyzatora współpracującego z przednim lewym kołem. Różnica w wartości wskaźnika EUSAMA dla kół jednej osi nie powinna przekraczać 20%, a więc do wymiany kwalifikują się dwa przednie amortyzatory. Stan zawieszenia kół tylnych można uznać za bardzo dobry. Przy zmniejszeniu ciśnienia o 40 % wskaźnik EUSAMA wzrasta od 12 do 16% w zależności od rozpa-

trywanego koła. W przypadku przedniego lewego koła, gdzie amortyzator jest w stanie niezdatności technicznej zaobserwowano znaczne zwiększenie wskaźnika EUSAMA, który wyniósł około 35%, co jest wartością dwukrotnie większą niż w przypadku kół współpracujących ze sprawnymi amortyzatorami.

3.3. Fiat Seicento S hatchback

Na rysunku 16 przedstawiono wizualizację zależności wartości współczynnika EUSAMA od ciśnienia w oponie oraz linie trendu, a w tabeli 3 równania opisujące wyznaczone linie trendu dla poszczególnych kół pojazdu.



Rys. 16. Wpływ ciśnienia w oponie na wartość wskaźnika EUSAMA oraz przebiegi funkcji opisujących tę zależność - Fiat Seicento S hatchback [1]

Tab. 3. Równania opisujące wyznaczone linie trendu - Fiat Seicento S hatchback [1]

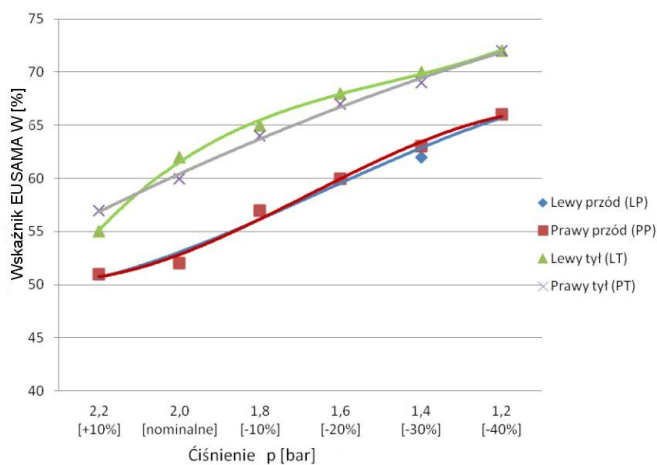
Koło	Równanie $W=f(p)$	R^2
Lewy przód (LP)	$W = 0,222 \cdot p^3 - 2,440 \cdot p^2 + 11,48 \cdot p + 62$	0,983
Prawy przód (PP)	$W = 0,185 \cdot p^3 - 1,765 \cdot p^2 + 8,334 \cdot p + 63,33$	0,974
Lewy tył (LT)	$W = -0,074 \cdot p^3 + 0,992 \cdot p^2 + 0,209 \cdot p + 53,66$	0,986
Prawy tył (PT)	$W = 0,046 \cdot p^3 - 0,504 \cdot p^2 + 6,306 \cdot p + 43,33$	0,995

Stan zawieszenia kół przednich można uznać za bardzo dobry, natomiast tylnych za dobry. Różnica wskaźnika EUSAMA wyznaczonego dla kół przedniej i tylnej osi wynosi około 20 procent, wynika to z specyficznego dla tego pojazdu rozkładu masy (obciążenie kół przednich - 645 kg, obciążenie kół tylnych - 350 kg). W celu dokładnej analizy należy dociążyć tylną oś masą równoważną masie dwóch osób i ponownie przeprowadzić pomiary. Przy ciśnieniu wyższym o 10% od nominalnego wskaźnik EUSAMA maleje od 2 do 7%. Przy zmniejszonym ciśnieniu o 40 % wartość wskaźnika EUSAMA wzrasta w stosunku do jego wartości wyznaczonej dla ciśnienia nominalnego od 13 do 18%.

3.4. Mercedes-Benz E320 sedan

Na rysunku 17 przedstawiono wizualizację zależności wartości współczynnika EUSAMA od ciśnienia w oponie oraz linie trendu, a w tabeli 4 równania opisujące wyznaczone linie trendu dla poszczególnych kół pojazdu.

Wartość wskaźnika EUSAMA dla pojazdu Mercedes-Benz E320 w przypadku osi przedniej ocenić można jako dobry, zaś dla osi tylnej jako bardzo dobry. Przy ciśnieniu wyższym o 10 % od nominalnego wskaźnik EUSAMA maleje od 1 do 7%. Przy zmniejszeniu ciśnienia w oponie o 40 % wartość wskaźnika wzrasta od 10 do 14%. W przypadku tego pojazdu zależność wskaźnika EUSAMA od ciśnienia w oponach zmienia się proporcjonalnie z wyjątkiem charakterystyki uzyskanej dla tylnego lewego koła, która jest wynikiem oddziaływania masy kierowcy.



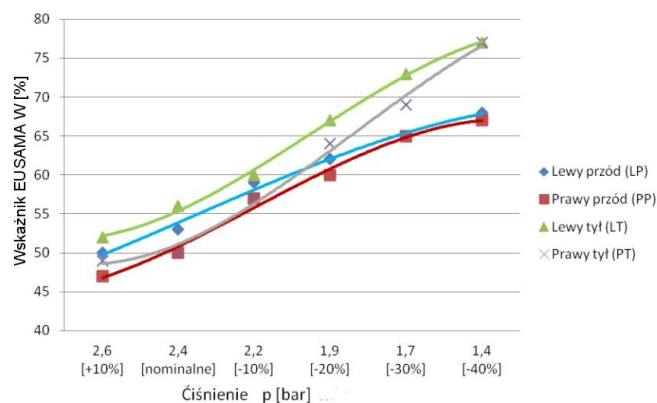
Rys. 17. Wpływ ciśnienia w oponie na wartość wskaźnika EUSAMA oraz przebiegi funkcji opisujących tę zależność - Mercedes-Benz E320 sedan [1]

Tab. 4. Równania opisujące wyznaczone linie trendu - Mercedes-Benz E320 sedan [1]

Koło	Równanie $W=f(p)$	R^2
Lewy przód (LP)	$W = -0,064 \cdot p^3 + 0,734 \cdot p^2 + 0,656 \cdot p + 49,33$	0,982
Prawy przód (PP)	$W = -0,129 \cdot p^3 + 1,396 \cdot p^2 - 1,187 \cdot p + 50,66$	0,990
Lewy tył (LT)	$W = 0,157 \cdot p^3 - 2,170 \cdot p^2 + 11,81 \cdot p + 45,3$	0,997
Prawy tył (PT)	$W = -3E-14 \cdot p^3 - 0,142 \cdot p^2 + 4 \cdot p + 53$	0,996

3.5. Peugeot Partner van

Na rysunku 18 przedstawiono wizualizację zależności wartości współczynnika EUSAMA od ciśnienia w oponie oraz linie trendu, a w tabeli 5 równania opisujące wyznaczone linie trendu dla poszczególnych kół pojazdu.



Rys. 18. Wpływ ciśnienia w oponie na wartość wskaźnika EUSAMA oraz przebiegi funkcji opisujących tę zależność - Peugeot Partner van [1]

Tab. 5. Równania opisujące wyznaczone linie trendu - Peugeot Partner van [1]

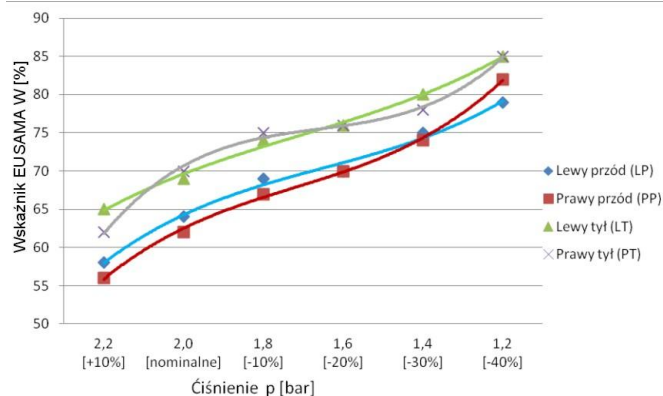
Koło	Równanie $W=f(p)$	R^2
Lewy przód (LP)	$W = -0,055 \cdot p^3 + 0,369 \cdot p^2 + 3,424 \cdot p + 46$	0,992
Prawy przód (PP)	$W = -0,157 \cdot p^3 + 1,420 \cdot p^2 + 0,863 \cdot p + 44,66$	0,991
Lewy tył (LT)	$W = -0,203 \cdot p^3 + 2,281 \cdot p^2 - 2,228 \cdot p + 52,33$	0,998
Prawy tył (PT)	$W = -0,194 \cdot p^3 + 2,523 \cdot p^2 - 3,710 \cdot p + 50$	0,992

W przypadku pojazdu Peugeot Partner van stwierdzono, że spadek ciśnienia w oponie skutkuje zwiększeniem różnicy między

wartością wskaźnika EUSAMA wyznaczonego dla tylnych kół, w stosunku do kół przednich. Jest to spowodowane dużą różnicą w rozkładzie masy między przednią, a tylną osią (różnica wynosi 275 kg), a także wysoką sztywnością sprężyn tylnego zawieszenia przystosowanych do wysokich obciążeń (pojazd dostawczy).

3.6. Skoda Octavia sedan

Na rysunku 19 przedstawiono wizualizację zależności wartości współczynnika EUSAMA od ciśnienia w oponie oraz linie trendu, a w tabeli 6 równania opisujące wyznaczone linie trendu dla poszczególnych kół pojazdu.



Rys. 19. Wpływ ciśnienia w oponie na wartość wskaźnika EUSAMA oraz przebiegi funkcji opisujących tę zależność - Skoda Octavia sedan [1]

Tab. 6. Równania opisujące wyznaczone linie trendu - Skoda Octavia sedan [1]

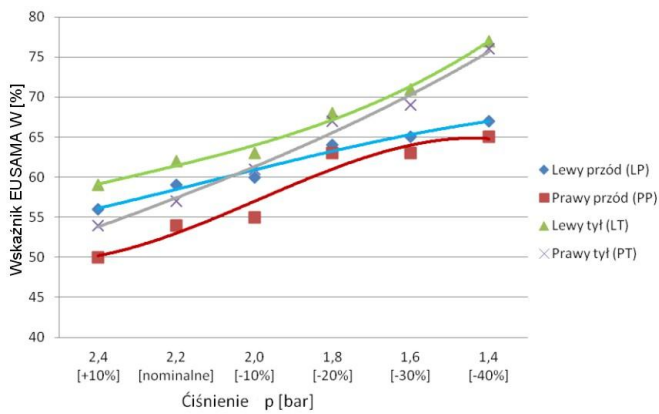
Koło	Równanie $W=f(p)$	R^2
Lewy przód (LP)	$W = 0,222 \cdot p^3 - 2,511 \cdot p^2 + 12,26 \cdot p + 48$	0,991
Prawy przód (PP)	$W = 0,314 \cdot p^3 - 3,198 \cdot p^2 + 14,05 \cdot p + 44,66$	0,998
Lewy tył (LT)	$W = 0,138 \cdot p^3 - 1,440 \cdot p^2 + 8,134 \cdot p + 58$	0,995
Prawy tył (PT)	$W = 0,509 \cdot p^3 - 5,650 \cdot p^2 + 22,26 \cdot p + 44,66$	0,996

W pojeździe Skoda Octavia sedan, wskaźnik EUSAMA ma wartość na poziomie stanu bardzo dobrego dla wszystkich kół. Przy ciśnieniu wyższym o 10% od nominalnego wskaźnik EUSAMA maleje od 6 do 10%. Przy zmniejszeniu ciśnienia w oponie o 40% wartość wskaźnika wzrasta od 15 do 20%, w stosunku do jego wartości zmierzonej przy ciśnieniu nominalnym.

3.7. Volvo V70 kombi

Na rysunku 20 przedstawiono wizualizację zależności wartości współczynnika EUSAMA od ciśnienia w oponie oraz linie trendu, a w tabeli 7 równania opisujące wyznaczone linie trendu dla poszczególnych kół pojazdu.

Pojazd Volvo V70 kombi uzyskał wskaźnik EUSAMA kwalifikujący stan zawieszenia pojazdu jako dobry i bardzo dobry. Przy ciśnieniu wyższym o 10% od nominalnego wskaźnik zmalał od 3 do 6%. Gdy ciśnienie zostało zmniejszone o 10%, wartość wskaźnika wzrosła o około 2%. Przy zmniejszeniu ciśnienia o 40%, skuteczność tłumienia drgań przez zawieszenie wzrosła od 8 do 19%. Ze względu na dużą sztywność zawieszenia tylnych kół zaobserwować można podobnie jak w pojeździe Peugeot Partner van zwiększenie dynamiki wzrostu wskaźnika EUSAMA dla osi tylnej, w stosunku do jego wartości zmierzonej dla osi przedniej, przy malejącym ciśnieniu w oponach.



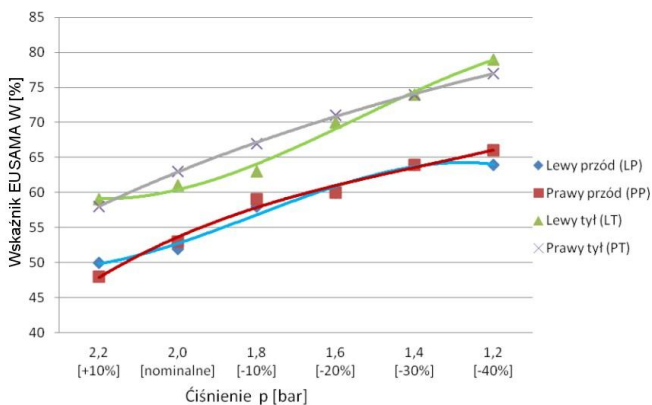
Rys. 20. Wpływ ciśnienia w oponie na wartość wskaźnika EUSAMA oraz przebiegi funkcji opisujących tę zależność - Volvo V70 kombi [1]

Tab. 7. Równania opisujące wyznaczone linie trendu - Volvo V70 kombi [1]

Koło	Równanie $W=f(p)$	R^2
Lewy przód (LP)	$W = -0,027 \cdot p^3 + 0,202 \cdot p^2 + 1,944 \cdot p + 54$	0,979
Prawy przód (PP)	$W = -0,185 \cdot p^3 + 1,694 \cdot p^2 - 0,977 \cdot p + 49,66$	0,947
Lewy tył (LT)	$W = 0,064 \cdot p^3 - 0,269 \cdot p^2 + 2,665 \cdot p + 56,66$	0,990
Prawy tył (PT)	$W = 0,018 \cdot p^3 + 0,019 \cdot p^2 + 3,429 \cdot p + 50,33$	0,987

3.8. VW Passat sedan

Na rysunku 21 przedstawiono wizualizację zależności wartości współczynnika EUSAMA od ciśnienia w oponie oraz linie trendu, a w tabeli 8 równania opisujące wyznaczone linie trendu dla poszczególnych kół pojazdu.



Rys. 21. Wpływ ciśnienia w oponie na wartość wskaźnika EUSAMA oraz przebiegi funkcji opisujących tę zależność - VW Passat sedan [1]

Tab. 8. Równania opisujące wyznaczone linie trendu - VW Passat sedan [1]

Koło	Równanie $W=f(p)$	R^2
Lewy przód (LP)	$W = -0,203 \cdot p^3 + 1,817 \cdot p^2 - 1,121 \cdot p + 49,33$	0,983
Prawy przód (PP)	$W = 0,083 \cdot p^3 - 1,285 \cdot p^2 + 9,059 \cdot p + 40$	0,987
Lewy tył (LT)	$W = -0,175 \cdot p^3 + 2,257 \cdot p^2 - 4,280 \cdot p + 61,33$	0,992
Prawy tył (PT)	$W = 0,018 \cdot p^3 - 0,444 \cdot p^2 + 6,108 \cdot p + 52,33$	0,999

W pojeździe VW Passat sedan stan zawieszenia ocenić można jako bardzo dobry w przypadku kół tylnych i dobry w przypadku kół przednich. Przy ciśnieniu wyższym o 10% od nominalnego wartość

wskaźnika EUSAMA maleje od 2 do 5%. Gdy ciśnienie zostanie zmniejszone o 10%, wskaźnik wzrasta o około 5%, zaś zmniejszenie ciśnienia o 40% skutkuje wzrostem wskaźnika od 12 do 18%.

PODSUMOWANIE

Zmiany ciśnienia w oponach eksploatowanych pojazdów są zjawiskiem naturalnym. W celu zapewnienia odpowiedniego poziomu komfortu, a także bezpieczeństwa istotnym staje się monitorowanie ciśnienia pompowania kół. Zbyt wysoka wartość ciśnienia powoduje obniżenie komfortu podróżowania i pogorszenie przyczepności koła do podłoża. Zmniejszenie ciśnienia pompowania wywołuje zwiększenie oporów toczenia, co w konsekwencji wiąże się ze wzrostem nakładów eksploatacyjnych. Przeprowadzone analizy wykazały, że spadek ciśnienia w ogumieniu o 40% powoduje wzrost wartości wskaźnika EUSAMA do około 20% w przypadku sprawnych amortyzatorów. W przypadku niesprawnych amortyzatorów wartość wskaźnika przy tak zaniżonym ciśnieniu pompowania może być niemal dwukrotnie większa. W przeanalizowanych przypadkach maksymalny wzrost wartości wskaźnika EUSAMA odnotowano w przypadku pojazdu Audi A4 kombi. Niesprawność amortyzatora współpracującego z lewym przednim kołem wywołała wzrost wskaźnika o około 35%. W pojazdach o dużej sztywności tylnego zawieszenia zauważono dynamiczniejszy wzrost wskaźnika EUSAMA dla kół tylnych, w stosunku do jego wartości zmierzonej dla kół przednich, w przypadku malejącego ciśnienia w oponie.

Przeprowadzone analizy pozwoliły na stworzenie bazy wiedzy, która zostanie wykorzystana do budowy modeli dynamiki pojazdów. Badania symulacyjne z wykorzystaniem tychże modeli pozwolą w bezpieczny i wydajny sposób pozyskiwać wiedzę o zachowaniu pojazdów eksploatowanych w ekstremalnych warunkach.

BIBLIOGRAFIA

- Chłudziński M., Wpływ ciśnienia w ogumieniu na tłumienie drgań przez układ zawieszenia. Praca Magisterska. UWM WNT. Olsztyn 2013.
- Dokumentacja Techniczno-Ruchowa Linia do diagnostyki podwozia SCREEN-TEST-LINE 7000.
- Dudziński J., Masa nieresorowana oraz nowe koncepcje technologiczne w napędach bezpośrednich. Prace Instytutu Elektrotechniki. Zeszyt 260. Wydawnictwo Instytutu Elektrotechniki Indeks nr 37656. Warszawa 2012. s. 271-280.
- Jaworski J.: Ogumienie pojazdów samochodowych budowa i eksploatacja. Wydawnictwo Komunikacji i Łączności. Warszawa 1987.
- Lozia Z., Guzek M., Pieniążek W., Zdanowicz P., Metodyka i przykładowe wyniki badań symulacyjnych ruchu wieloosiowego pojazdu specjalnego w warunkach eksplozyjnego uszkodzenia opon. ZESZYTY NAUKOWE INSTYTUTU POJAZDÓW 4(90)/2012. s. 19-42.
- Michalski R., Szczyglak P., Modelowanie podatności promieniowej kół pneumatycznych współpracujących ze sztywnym podłożem. Technical Sciences. Supplement 1. Publisher UWM. Olsztyn 2004. s. 187-196.
- Orzechowski S., Budowa podwozi i nadwozi samochodowych. WSiP 2000.
- Powałka M., Buliński J., Wpływ technicznych parametrów opon ciągnikowych i sztywności podłoża na wielkość powierzchni podparcia koła. Inżynieria Rolnicza 4(64). 2005. s. 155-163.
- Rychter T., Mechanik pojazdów samochodowych. WSiP 1990.

10. Szczyglak P., Modeling the flexibility of pneumatic tired wheels moving on the soil surface. Technical Sciences 9. Publisher UWM. Olsztyn 2006. s. 111-118.
11. Szczyglak P.: Analiza porównawcza metod wyznaczania podatności promieniowej koła pneumatycznego. Inżynieria Systemów Bioagrotechnicznych. Zeszyt 6 (15). Płock 2007. s. 35-40. ISBN 978-83-915395-8-3.
12. Szczyglak P., Testing of stability of a machine aggregate with a model of dynamics. *Horizonty Doprawy* 5/2006. Żylinia 2006. s. 42-44. ISSN 1210-0978.
13. <http://www.michelin.pl/>

THE PRESSURE IN A PNEUMATIC WHEEL'S INFLUENCE ON THE EFFECTIVITY OF SUPPRESSION OF VIBRATIONS IN VEHICLE SUSPENSION SYSTEM

Abstract

The study in the literature regarding the exploitation of suspension in cars has been carried out. The variables influencing the process of suppression of vibrations in motor vehicle suspension have been identified. Methodology of experimental research has been prepared with the aim to identify a dependence between the pressure in the pneumatic tires and the value of the EUSAMA pointer. There was 10 randomly selected vehicles with different kinds of pneumatic wheels tested. The measures have been produced for the nominal pressure and decreased by 10%, 20%, 30% and 40% and also with the pressure increased by 10%. The visualisation of the results registered at the time of the research has been created. Based on those results, the equations describing the dependence between the pressure in pneumatic tires and the value of the EUSAMA pointer have been generated. The analysis has shown that the changes of the pressure in pneumatic tires in the researched area can cause a decrease in the value of the EUSAMA pointer even by 35%.

Autorzy:

dr inż. **Piotr Szczyglak** – Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie, Wydział Nauk Technicznych, Katedra Budowy Eksploatacji Pojazdów i Maszyn, 10-719 Olsztyn, ul. Oczapowskiego 11, Tel./Fax: +48 89 523-34-63, E-mail: szczypio@uwm.edu.pl.

dr hab. inż. **Jerzy Napiórkowski** prof. UWM – Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie, Wydział Nauk Technicznych, Katedra Budowy Eksploatacji Pojazdów i Maszyn, 10-719 Olsztyn, ul. Oczapowskiego 11, Tel./Fax: +48 89 523-34-63, E-mail: szczypio@uwm.edu.pl.