

Jan WARCZEK, Kamil BRONCEL

APLIKACJA METODY BADAŃ WŁASNOŚCI DYNAMICZNYCH ZAWIESZEŃ POJAZDÓW SAMOCHODOWYCH O DMC POWYŻEJ 3,5 TONY W PROGRAMIE LABVIEW

Streszczenie. W artykule przedstawiono wyniki badań symulacyjnych, których celem była walidacja metody wyznaczania charakterystyki tłumienia zawieszenia pojazdu samochodowego. Opracowana metoda została wykorzystana do wykonania programu w środowisku LabView. W badaniach wykorzystano wyniki symulacji przeprowadzonych na ćwiartkowym modelu zawieszenia pojazdu użytkowego. Docelowo przedstawiona metoda oraz jej wersja użytkowa, w postaci programu działającego na platformie systemu Windows, mają znaleźć zastosowanie w diagnostyce samochodów o dopuszczalnej masie całkowitej powyżej 3,5 tony.

Słowa kluczowe: Diagnostyka samochodów, charakterystyki tłumienia, zawieszenie pojazdu, LabView

THE APPLICATION OF DETERMINATION METHOD OF DYNAMIC PROPERTIES OF TRACK SUSPENSION IN LABVIEW

Summary. The article presents the results of simulation tests, which aim was to validate the method of determining the damping characteristics of the suspension vehicle. The developed method was used for the implementation of the program in LabView environment. The study used the results of simulations carried out on the DOF model of a truck suspension. Ultimately, the presented method and its version in use as a program running on the Windows platform is to be applied in the diagnosis of vehicles with a maximum permissible weight of over 3.5 tonnes.

Keywords: Diagnosis of vehicles, damping characteristics, suspension vehicle, LabView

1. WPROWADZENIE

W oddziaływaniach dynamicznych pomiędzy kabiną pojazdu samochodowego a nawierzchnią drogi bierze udział wiele elementów konstrukcyjnych. Zespół zawieszenia jest odpowiedzialny za minimalizację skutków poruszania się pojazdu po nierównościach nawierzchni drogi, przy jednoczesnym zapewnieniu kontaktu kół jezdnych z nawierzchnią.

Te zadania zawieszenia decydują o bezpieczeństwie jazdy i komforcie podróży. W czasie eksploatacji następuje stopniowa degradacja elementów składowych zawieszenia, czego rezultatem jest pogorszenie ich stanu technicznego. Zmiany stanu technicznego elementów zawieszonych są możliwe do rozpoznania przy wykorzystaniu metod diagnostycznych. Jednak dokładna ocena stanu zawieszenia jest trudna do wykonania i ponadto obecnie stosowane metody dotyczą wyłącznie samochodów o DMC nieprzekraczającej 3,5 tony [1,3]. Wymagają przy tym rozbudowanych i drogich stanowisk diagnostycznych. Proponowana w niniejszym artykule procedura oceny stanu technicznego zawieszonych zaimplementowana w środowisku LabView może stanowić alternatywę dla obecnie stosowanych metod. LabView (Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench) jest środowiskiem programowania graficznego, tzw. języka G. W tym środowisku wpisywanie linijek kodu zastąpiono dodawaniem symboli graficznych połączonych przewodami sygnałowymi. Środowisko LabView zawiera wiele gotowych komponentów składowych kodu, które łatwo pobrać z odpowiedniego menu i dodać do tworzonego programu [2]. Bardzo dużą zaletą jest możliwość bezpośredniego wprowadzania danych przez kartę pomiarową i dalszą ich analizę przez program. Gotowy program w łatwy sposób można kompilować do postaci pliku wykonywalnego z rozszerzeniem.exe, co pozwala tworzyć niezależne aplikacje. Dzięki temu można wykonać aplikacje, działające na każdym urządzeniu wykorzystującym platformę Windows.

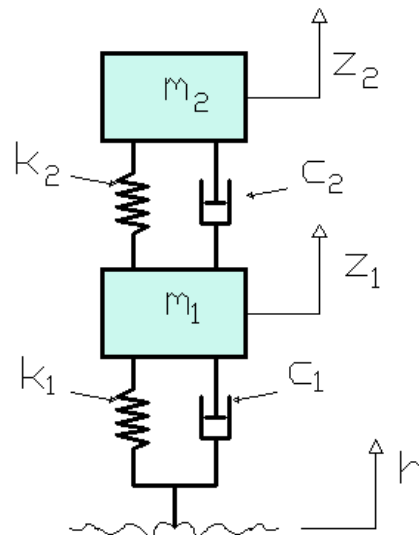
2. OPIS METODY BADAŃ

W analizie dynamiki układów mechanicznych często wykorzystuje się uproszczone modele obliczeniowe. W przypadku zawieszonych pojazdów samochodowych dobre odwzorowanie zachowania się obiektu rzeczywistego jest możliwe do osiągnięcia przy wykorzystaniu modelu dwumasowego [4]. Jest to model o dwóch stopniach swobody, reprezentujący dynamikę ćwiartki zawieszenia pojazdu w kierunku pionowym. Model fizyczny zawieszenia powiązanego z kołem jednym pojazdu przedstawia rys. 1.

Przedstawiony model fizyczny opisuje układ równań różniczkowych (1). Z analizy równia ruchu masy resorowanej wynika, że w chwili, gdy ugięcie elementu sprężystego zawieszenia jest równe jego odkształceniu dla równowagi statycznej $z_2 - z_1 = 0$, chwilowa wartość siły dynamicznej, działającej na tę masę, jest równoważona chwilową wartością siły tłumienia. Przy uwzględnieniu, że masa resorowana jest stała, zmiany wartości tej siły dynamicznej są powiązane ze zmianami chwilowych wartości przyspieszeń, działających na masę nadwozia.

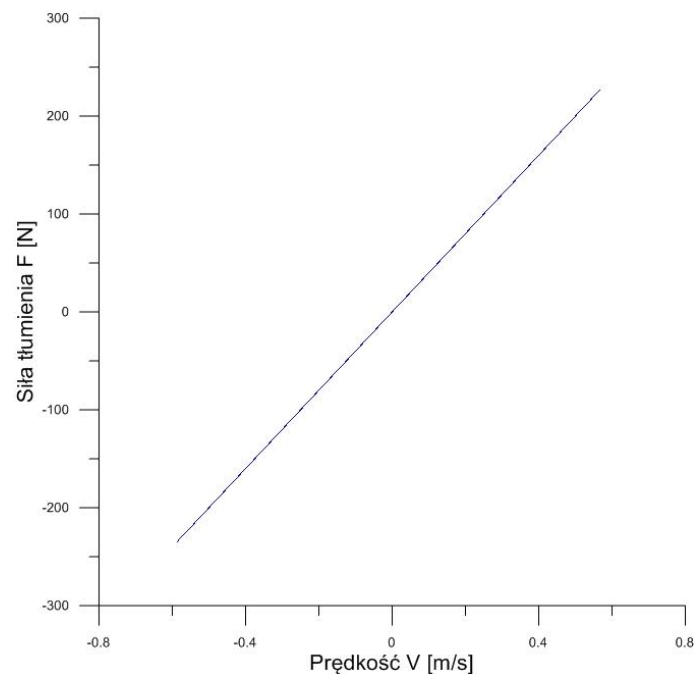
$$\begin{aligned} m_2 \ddot{z}_2 + c_2 (\dot{z}_2 - \dot{z}_1) + k_2 (z_2 - z_1) &= 0 \\ m_1 \ddot{z}_1 - c_2 (\dot{z}_2 - \dot{z}_1) + c_1 (\dot{z}_1 - \dot{h}) + k_1 (z_1 - h) - k_2 (z_2 - z_1) &= 0 \end{aligned} \quad (1)$$

Model symulacyjny ćwiartki zawieszenia o dwóch stopniach swobody (DOF) pojazdu samochodowego wykonano i uruchomiono w programie Matlab/Simulink. W badaniach symulacyjnych stosowano liniowe i nieliniowe charakterystyki tłumienia zawieszenia. Przykładowe charakterystyki tłumienia, wykorzystywane w modelach symulacyjnych, przedstawiają rys. 2, 3, 4 i 5.

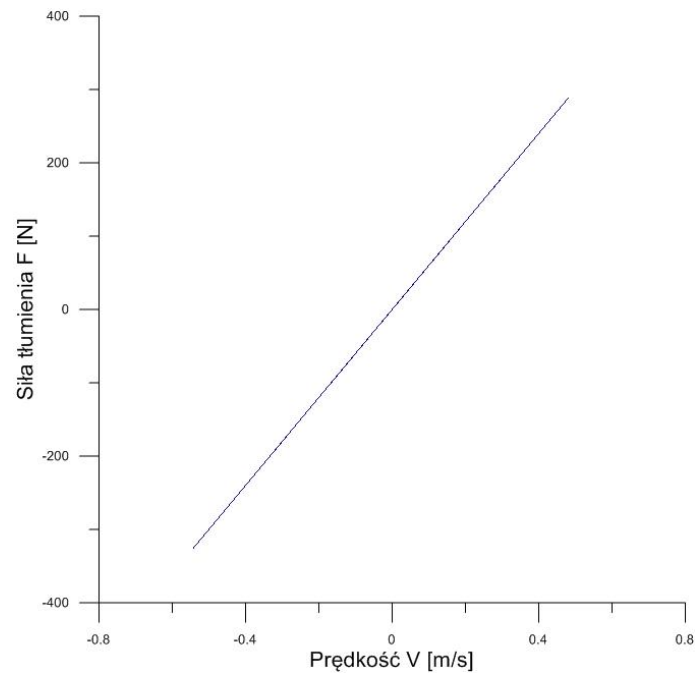


Rys. 1. Model zawieszenia pojazdu samochodowego, m_2 – masa resorowana, m_1 – masa nieresorowana, k_2 – współczynnik sprężystości zawieszenia, k_1 – współczynnik sprężystości koła, c_2 – współczynnik tłumienia zawieszenia, c_1 – współczynnik tłumienia koła, h – wymuszenie pochodzące od nierówności drogi, z_2 – przemieszczenia pionowe masy resorowanej, z_1 – przemieszczenia pionowe koła (masy nieresorowanej)

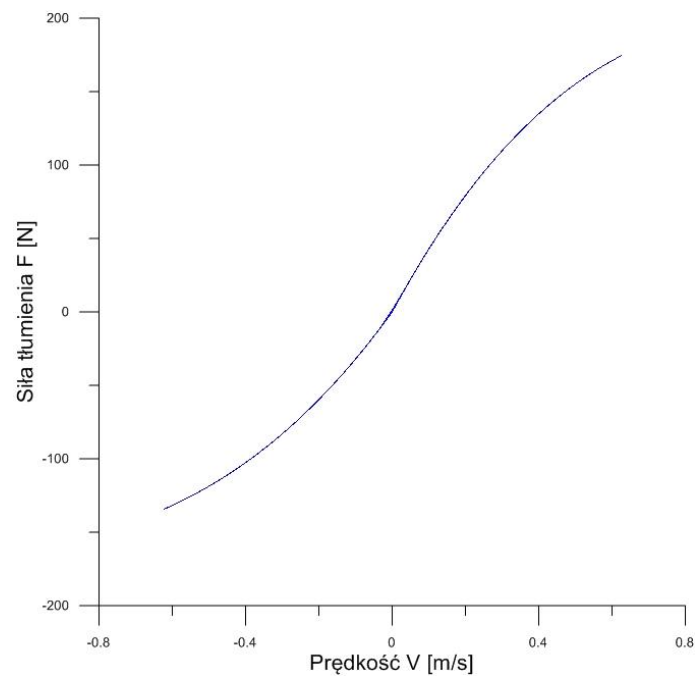
Fig. 1. The quarter model of car suspension. m_2 – sprung mass, m_1 – unsprung mass, c_1 – stiffness of wheel, c_2 – stiffness of suspension, k_2 – damping of suspension, k_1 – damping of wheel, h – excitation, z_2 – vertical displacement of sprung mass, z_1 – vertical displacement of wheel



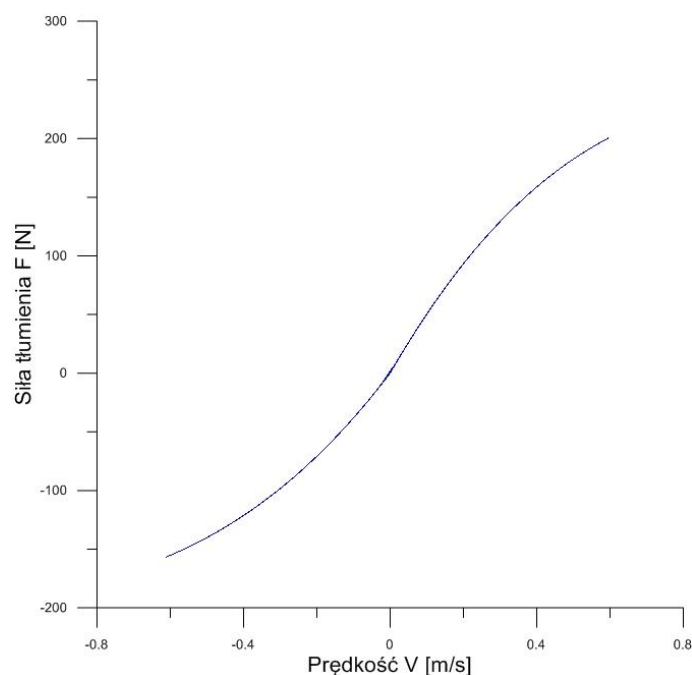
Rys. 2. Charakterystyka tłumienia nr 15, wykorzystana w badaniach symulacyjnych
Fig. 2. Damping characteristics No. 15 used in the simulation tests



Rys. 3. Charakterystyka tłumienia nr 16, wykorzystana w badaniach symulacyjnych
Fig. 3. Damping characteristics No. 16 used in the simulation tests

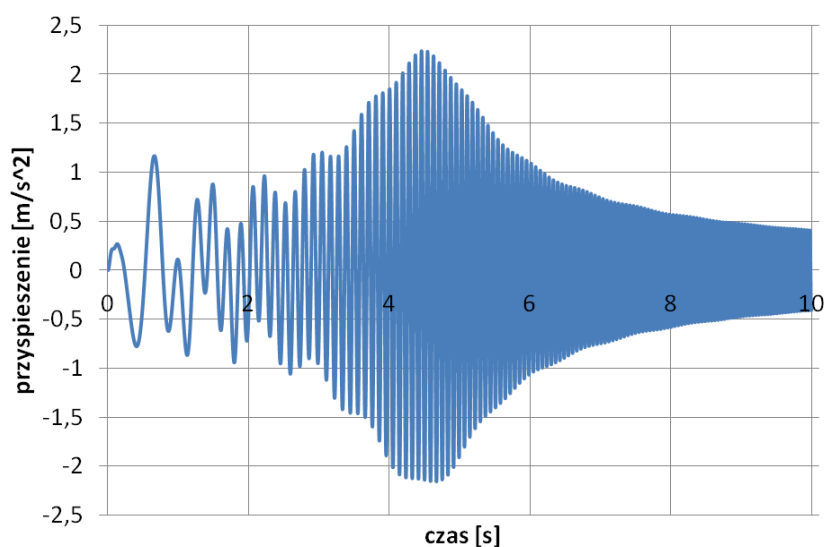


Rys. 4. Charakterystyka tłumienia nr 23, wykorzystana w badaniach symulacyjnych
Fig. 4. Damping characteristics No. 23 used in the simulation tests

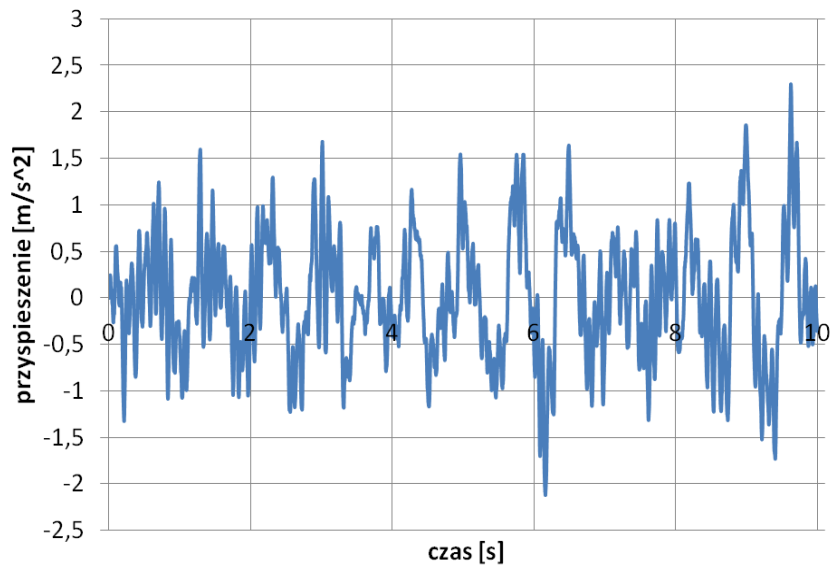


Rys. 5. Charakterystyka tłumienia nr 24, wykorzystana w badaniach symulacyjnych
Fig. 5. Damping characteristics No. 24 used in the simulation tests

Wynikami przeprowadzonych badań symulacyjnych były sygnały drganiowe, powiązane z elementami modelu zawieszenia pojazdu. W warunkach eksploatacyjnych sposób pozyskiwania informacji o parametrach dynamicznych zawieszenia badanego pojazdu opiera się na pomiarze wybranych sygnałów drganiowych. Dlatego spośród uzyskanych wyników zostały wybrane dwa parametry drganiowe, które bez większych problemów są możliwe do zarejestrowania na rzeczywistym pojeździe [5]. Konkretnie chodzi o przyspieszenie masy resorowanej i względne przemieszczenie mas resorowanej i nieresorowanej. Przykładowe wyniki badań symulacyjnych, uzyskane z modelu zawieszenia przy wymuszeniach typu Chirp o liniowo narastającej częstotliwości, i badania losowego opowiadającego rzeczywistym nierównościom drogi krajowej drugiej kategorii przedstawiają rys. 6 i 7.



Rys. 6. Przyspieszenia drgań masy resorowanej modelu przy wymuszeniu typu Chirp
Fig. 6. Vibration acceleration of the sprung mass model by forcing the type of Chirp

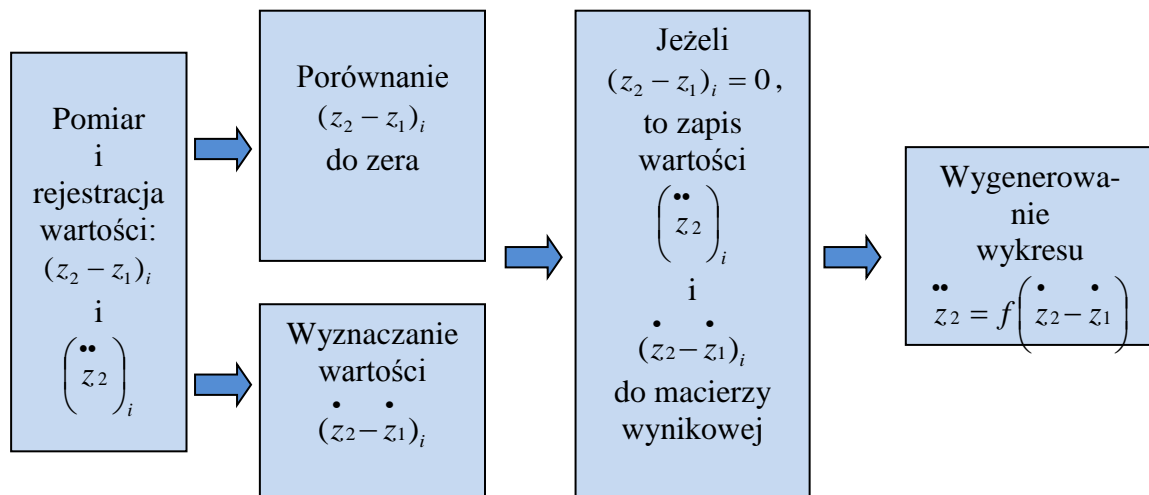


Rys. 7. Przyspieszenia drgań masy resorowanej modelu przy wymuszeniu typu losowego
 Fig. 7. Vibration acceleration of the sprung mass model by forcing the type random

Uzyskane wyniki badań symulacyjnych zostały zapisane w postaci plików, które były poddawane analizie w następujących krokach:

- sygnał przemieszczeń zostaje poddany różniczkowaniu w celu uzyskania sygnału zmian prędkości w czasie,
- następnie przeprowadza się detekcję punktów na osi czasu, w których wartość ugięcia dynamicznego elementu sprężystego zawieszenia równa się jego odkształceniu w warunkach obciążenia statycznego,
- kolejnym krokiem jest zapis wartości chwilowych przyspieszeń m_2 i prędkości względnej podczas przejść przez zero sygnału przemieszczeń,
- zobrazowanie otrzymanych wartości na dwuwymiarowym wykresie XY, gdzie osi X odpowiada prędkości względnej mas pojazdu, a oś Y przyspieszeniu masy resorowanej.

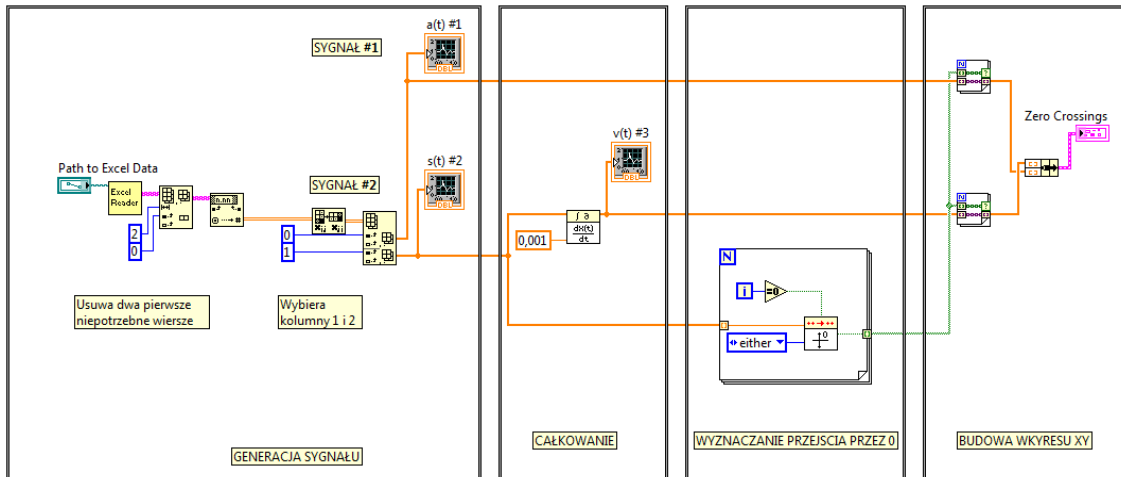
Schemat metody uzyskiwania informacji końcowej w postaci wykresu obrazu charakterystyki tłumienia, szczegółowo opisany w pracy [6], przedstawiono w postaci schematu procesowego na rys. 8.



Rys. 8. Schemat przetwarzania sygnałów drganiowych zarejestrowanych w czasie jazdy
 Fig. 8. The scheme of signal processing of vibrations

Ostatnim etapem analizy jest porównanie uzyskanego wykresu z kształtem charakterystyki tłumienia wykorzystanej jako dane wsadowe w modelu obliczeniowym, co umożliwi ocenę stanu technicznego badanego zawieszenia.

Opisany algorytm został przetłumaczony na język G i na rys. 9 przedstawiono jego widok w postaci diagramu blokowego.



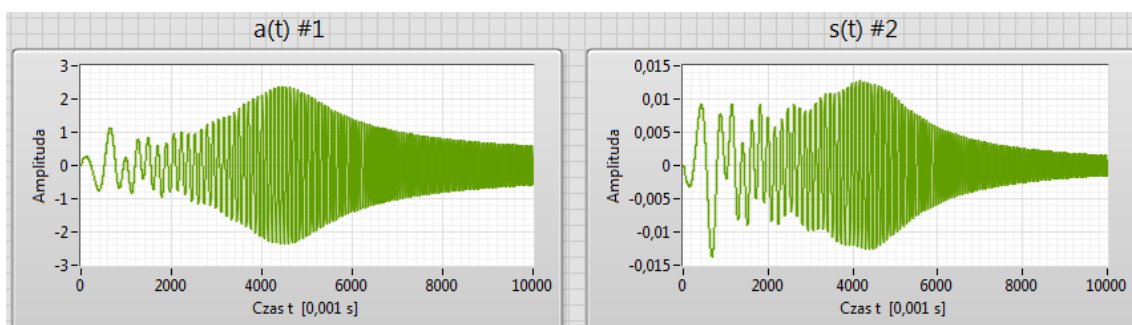
Rys. 9. Widok ogólny programu w środowisku LabView

Fig. 9. The view of working diagram in Lab View

Na podstawie sygnału przemieszczeń względnych mas resorowanej i nieresorowanej w programie wyznaczana jest postać przebiegu zmian prędkości względnej. Zgodnie ze schemat procesu przetwarzania wyników obliczeń niustalonych drgań modelu dynamicznego zawieszenia, kolejnym krokiem było wyznaczenie macierzy wynikowej.

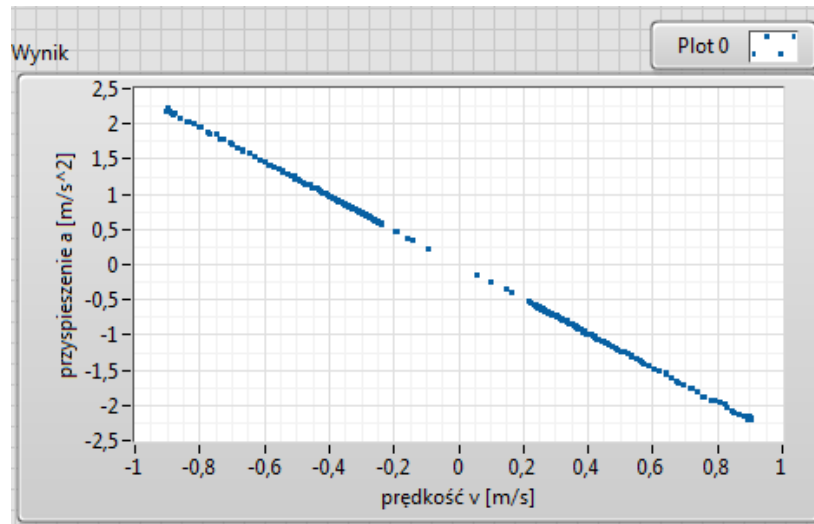
3. WYNIKI PRZETWARZANIA SYGNAŁÓW W PROGRAMIE LABVIEW

Wynikiem procesu przetwarzania danych wejściowych w programie LabView są zbiory wykresów. Przykładowe wyniki zostały pogrupowane ze względu na rodzaj wymuszenia wykorzystywanego w badaniach symulacyjnych.



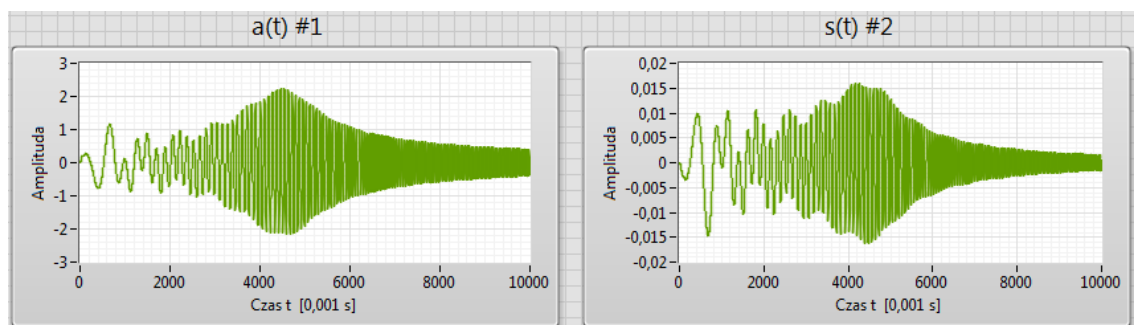
Rys. 10. Przebiegi czasowe przyspieszeń drgań masy resorowanej i względnych przemieszczeń mas resorowanej i nieresorowanej zaimportowane z programu Matlab - charakterystyka tłumienia nr 16 - wymuszenie typu Chirp

Fig. 10. The body of car acceleration vibration (m_2) and relative displacement of the suspension imported from Matlab - damping characteristics No. 16 - forcing the type of Chirp



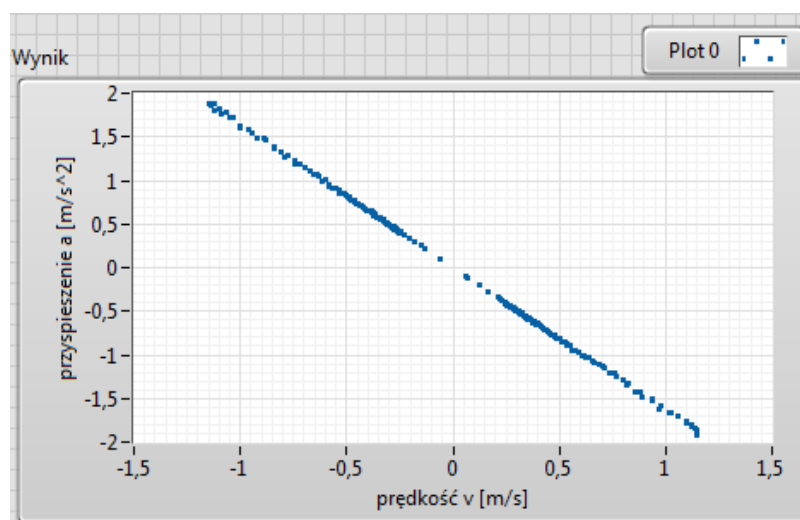
Rys. 11. Uzyskany obraz kształtu charakterystyki tłumienia nr 16

Fig. 11. The resulting image of the shape of the damping characteristics No. 16



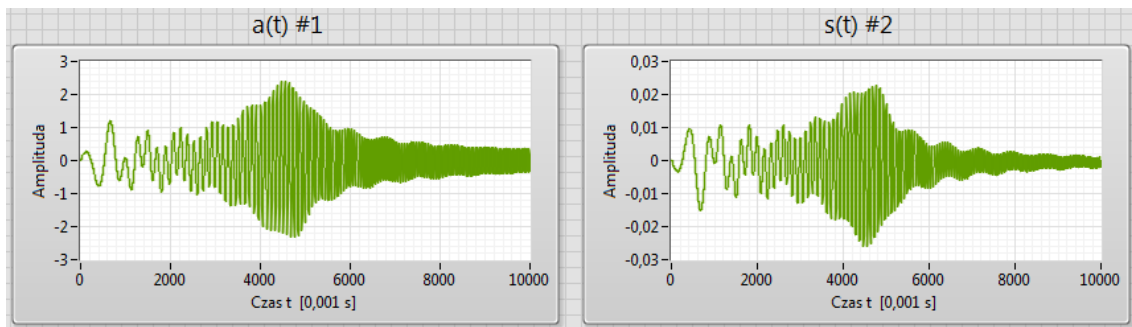
Rys. 12. Przebiegi czasowe przyspieszeń drgań masy resorowanej i względnych przemieszczeń mas resorowanej i nieresorowanej zaimportowane z programu Matlab - charakterystyka tłumienia nr 15 - wymuszenie typu Chirp

Fig. 12. The body of car acceleration vibration (m_2) and relative displacement of the suspension imported from Matlab - damping characteristics No. 15 - forcing the type of Chirp



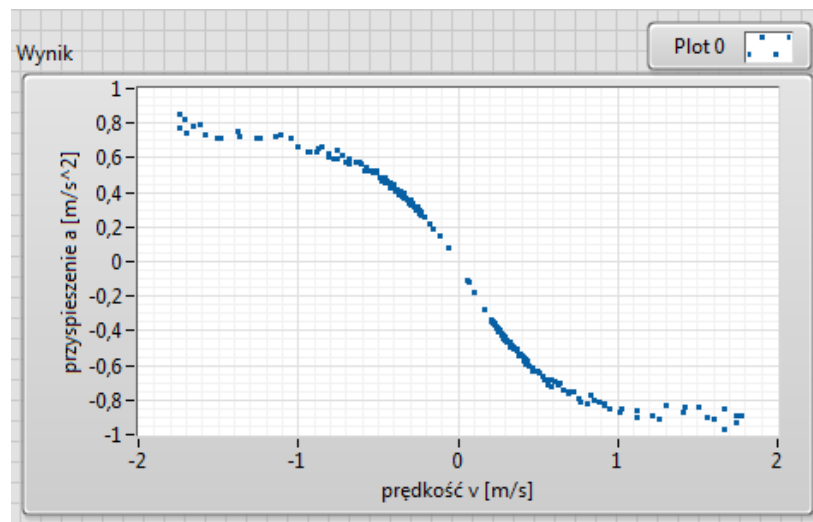
Rys. 13. Uzyskany obraz kształtu charakterystyki tłumienia nr 15

Fig. 13. The resulting image of the shape of the damping characteristics No. 15



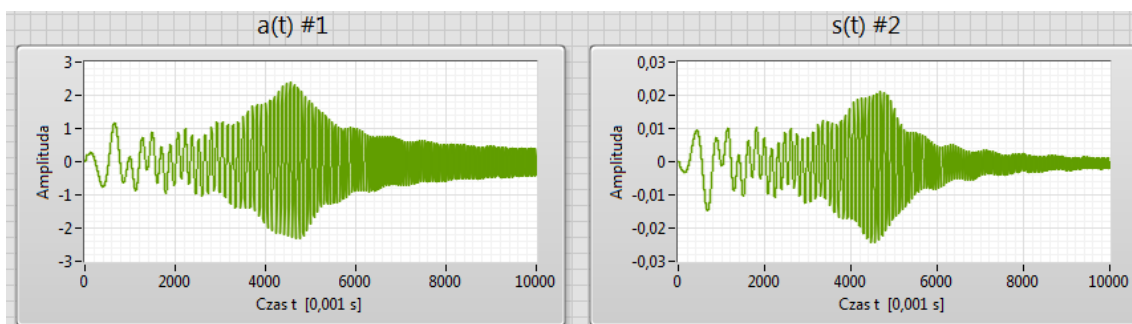
Rys. 14. Przebiegi czasowe przyspieszeń drgań masy resorowanej i względnych przemieszczeń mas resorowanej i nieresorowanej zaimportowane z programu Matlab - charakterystyka nr 23 - wymuszenie typu Chirp

Fig. 14. The body of car acceleration vibration (m_2) and relative displacement of the suspension imported from Matlab - damping characteristics No. 23 - forcing the type of Chirp



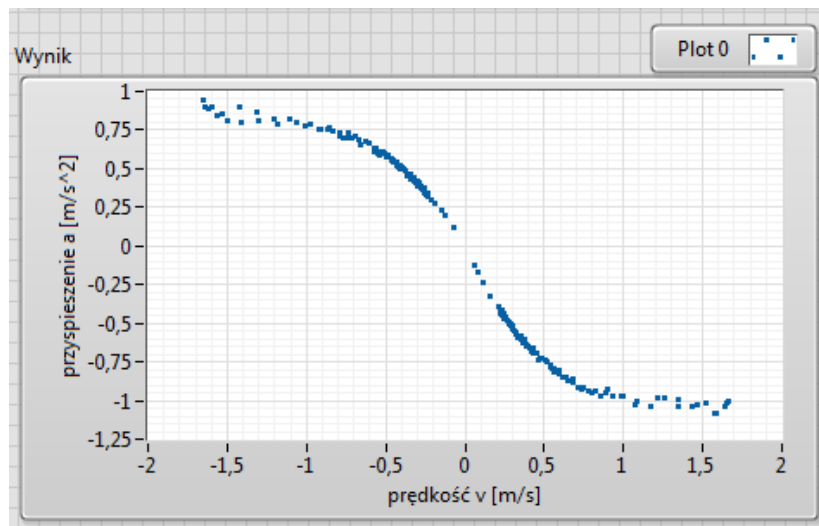
Rys. 15. Uzyskany obraz kształtu charakterystyki tłumienia nr 23

Fig. 15. The resulting image of the shape of the damping characteristics No. 23



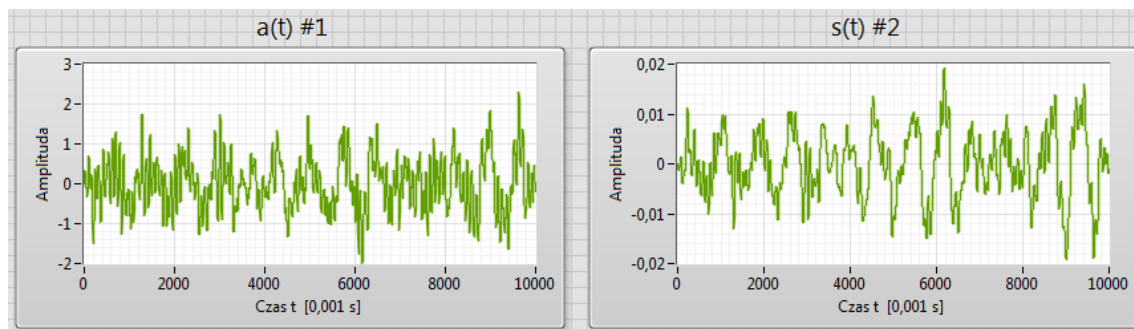
Rys. 16. Przebiegi czasowe przyspieszeń drgań masy resorowanej i względnych przemieszczeń mas resorowanej i nieresorowanej zaimportowane z programu Matlab - charakterystyka tłumienia nr 24 - wymuszenie typu Chirp

Fig. 16. The body of car acceleration vibration (m_2) and relative displacement of the suspension imported from Matlab - damping characteristics No. 24 - forcing the type of Chirp



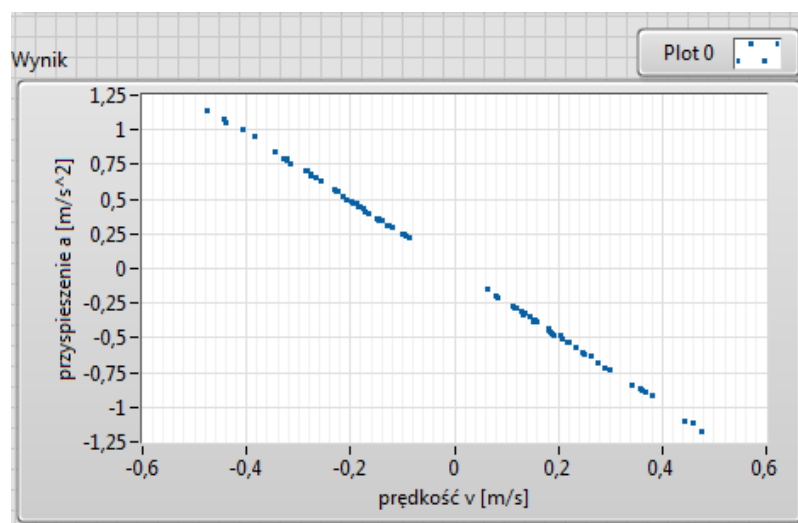
Rys. 17. Wyznaczony obraz kształtu charakterystyki tłumienia nr 24

Fig. 17. The resulting image of the shape of the damping characteristics No. 24



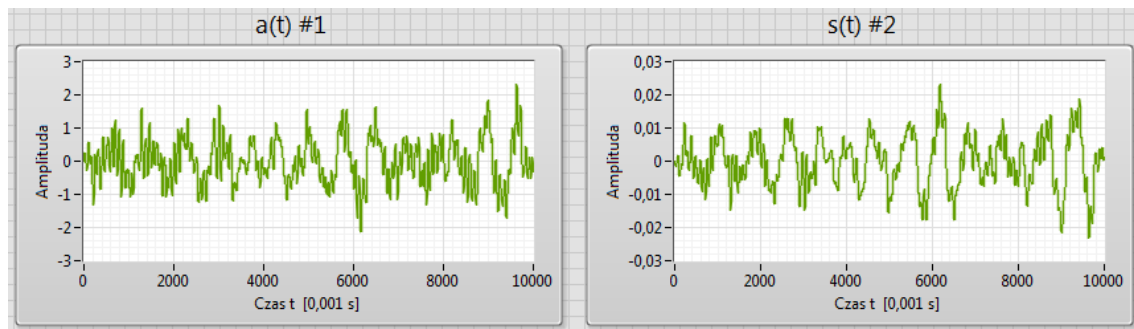
Rys. 18. Przebiegi czasowe przyspieszeń drgań masy resorowanej i względnych przemieszczeń masy resorowanej i nieresorowanej zaimportowane z programu Matlab - charakterystyka tłumienia nr 16 - wymuszenie typu losowego

Fig. 18. The body of car acceleration vibration (m_2) and relative displacement of the suspension imported from Matlab - damping characteristics No. 16 - forcing the type of random



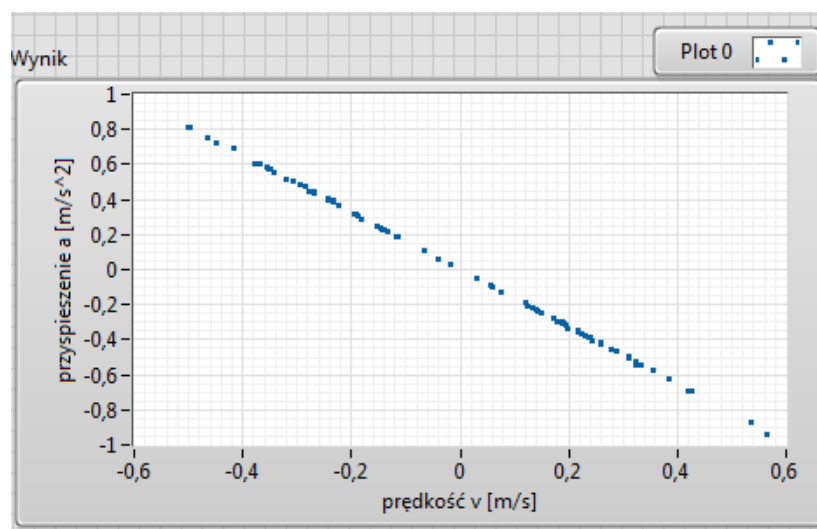
Rys. 19. Uzyskany obraz kształtu charakterystyki tłumienia nr 16

Fig. 19. The resulting image of the shape of the damping characteristics No. 16



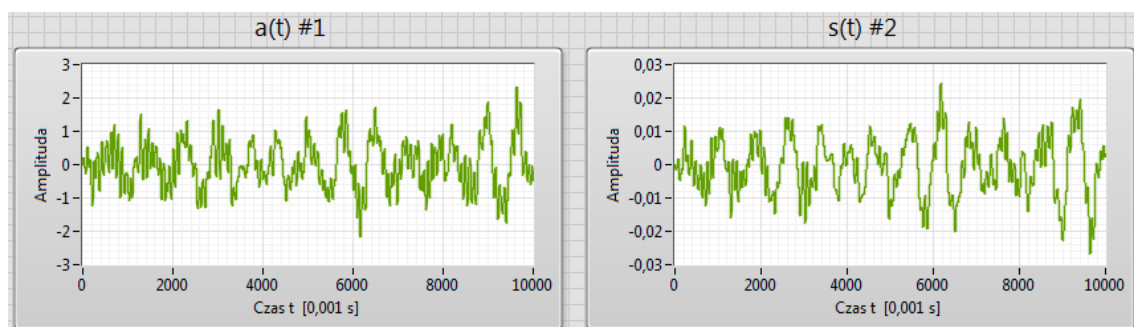
Rys. 20. Przebiegi czasowe przyspieszeń drgań masy resorowanej i względnych przemieszczeń mas resorowanej i nieresorowanej zaimportowane z programu Matlab - charakterystyka tłumienia nr 15 - wymuszenie typu losowego

Fig. 20. The body of car acceleration vibration (m_2) and relative displacement of the suspension imported from Matlab - damping characteristics No. 15 - forcing the type of random



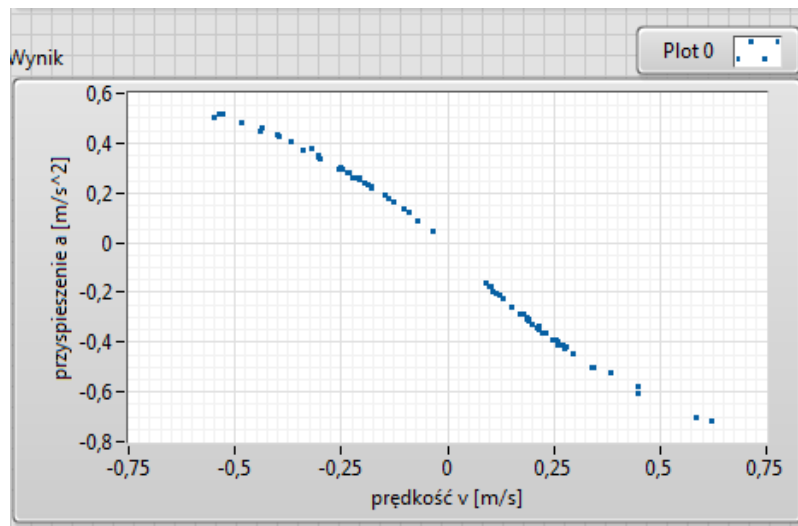
Rys. 21. Uzyskany obraz kształtu charakterystyki tłumienia nr 15

Fig. 21. The resulting image of the shape of the damping characteristics No. 15

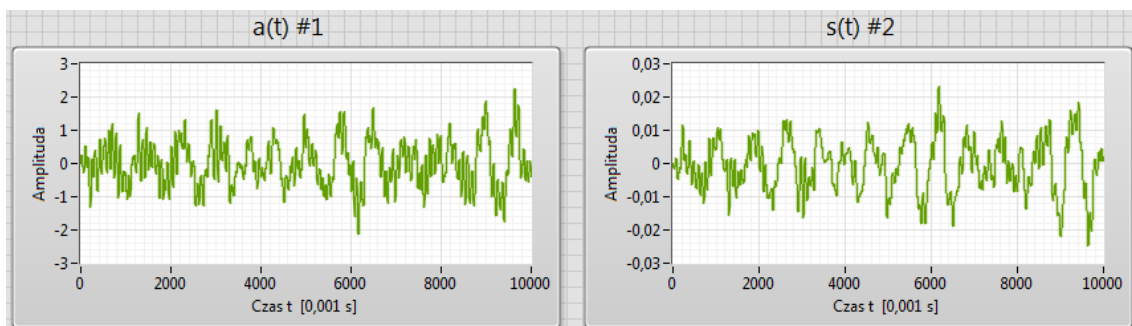


Rys. 22. Przebiegi czasowe przyspieszeń drgań masy resorowanej i względnych przemieszczeń mas resorowanej i nieresorowanej zaimportowane z programu Matlab - charakterystyka tłumienia nr 23 - wymuszenie typu losowego

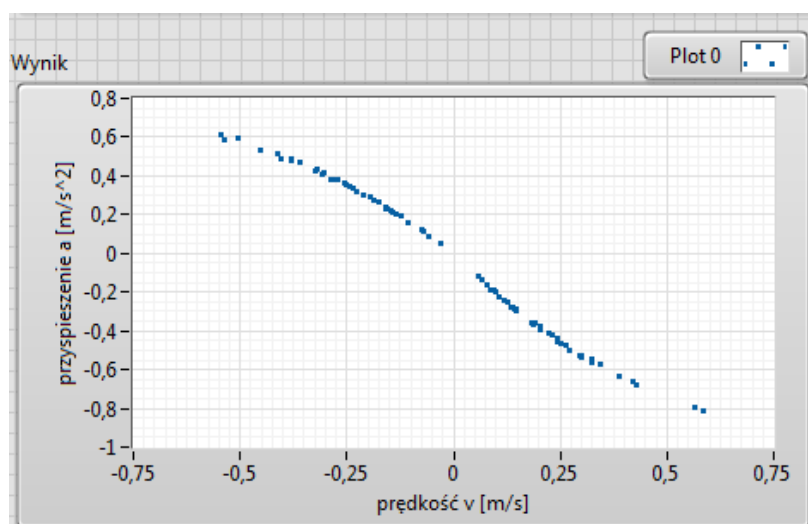
Fig. 22. The body of car acceleration vibration (m_2) and relative displacement of the suspension imported from Matlab - damping characteristics No. 23 - forcing the type of random



Rys. 23. Uzyskany obraz kształtu charakterystyki tłumienia nr 23
 Fig. 23. The resulting image of the shape of the damping characteristics No. 23



Rys. 24. Przebiegi czasowe przyspieszeń drgań masy resorowanej i względnych przemieszczeń mas resorowanej i nieresorowanej zaimportowane z programu Matlab - charakterystyka tłumienia nr 24 - wymuszenie typu losowego
 Fig. 24. The body of car acceleration vibration (m_2) and relative displacement of the suspension imported from Matlab - damping characteristics No. 24 - forcing the type of random



Rys. 25. Uzyskany obraz kształtu charakterystyki tłumienia nr 24
 Fig. 25. The resulting image of the shape of the damping characteristics No. 24

Uzyskane wyniki potwierdzają przydatność prezentowanej metody do wyznaczania parametrów dynamicznych zawieszonych pojazdów. Wynik w postaci obrazu charakterystyki tłumienia można uzyskać przy dowolnym rodzaju wymuszenia, pod warunkiem zachowania pewnego założonego pasma częstotliwości. Do tego celu nadają się zarówno wymuszenia deterministyczne, jak i stochastyczne. Ponieważ zaprezentowana metoda nie wymaga stosowania dodatkowych wzbudników drgań, więc można ją wykorzystać do wyznaczania parametrów dynamicznych zawieszonych pojazdów o DMC powyżej 3,5 tony lub po określeniu wartości granicznych, jako metodę diagnostyczną np. amortyzatorów. Zaletą opisanej procedury jest możliwość jej przeprowadzenia w warunkach eksploatacyjnych. Może to stanowić o aplikacyjności tej metody w pokładowych systemach diagnostycznych pojazdów.

4. PODSUMOWANIE

Przedstawiona metoda nie wymaga kosztownych urządzeń, a ocena stanu technicznego może odbywać się w rzeczywistych warunkach jazdy. Oprogramowanie łatwo dostosować do działania w środowisku Windows i zastosować na urządzeniu przenośnym typu tablet. Takie rozwiązanie można również wprowadzić do urządzeń diagnozowanych przez system EOBD i możliwe będzie monitorowanie zawieszenia pojazdu. Stały monitoring prowadzony w czasie normalnej eksploatacji pozwala na bieżąco porównywać uzyskane wykresy przyspieszeń drgań w funkcji prędkości względnej z danymi wzorcowymi lub bazą danych, opracowaną w czasie historii użytkowania. Kiedy uzyskiwane wyniki zaczną przekraczać wyznaczony zakres graniczny, pokładowy system diagnostyczny będzie przekazywał kierowcy informację o pogorszeniu się stanu technicznego zawieszenia. Jest to szczególnie istotne w pojazdach ciężkich, gdzie dostępne metody diagnostyczne często nie są wystarczające, a diagnostyka podczas ruchu w warunkach rzeczywistych obecnie nie jest stosowana.

Bibliografia

1. Sikorski J. 1982. *Amortyzatory pojazdów samochodowych*. [In Polish: *Shock absorbers for motor vehicles*]. Warszawa: Wydawnictwo Komunikacji i Łączności.
2. Chruściel M. 2008. *LabVIEW w praktyce*. [In Polish: *LabVIEW in practice*]. Wydawnictwo BTC.
3. Dixon C.J. 2007. *The Shock Absorber Handbook*. John Wiley & Sons, Ltd.
4. Gardulski J., J. Warczek. 2006. "Badania symulacyjne układu mechanicznego z aktywnym tłumieniem drgań". [In Polish: "Simulation tests of a mechanical system with active vibration damping"]. *Problemy Transportu* 1 (1): 145-150.
5. Gardulski J., J. Warczek. 2009. "Identification of damping characteristic example suspension of car the hydropneumatic construction". *Diagnostyka* 3: 41-44.
6. Warczek J., R. Burdzik, G. Peruń. 2012. "The method for identification of damping coefficient of the trucks suspension". In *Smart diagnostics V. Selected, peer reviewed papers from the 5th International Congress of Technical Diagnostics*. September 3-5, 2012, Krakow Poland. (ed.): Uhl T. 2014. *Stafa-Zurich, Trans Tech Publications*: 281-289, *Key Engineering Materials* 588: 1662-9795.