

SIMULATING RESEARCHES OF IMPACT REACTION OF VEHICLE ON SUBGRADE IN IDENTIFICATION POSSIBILITY ASPECT

Jerzy Jackowski

*Military University of Technology
ul. Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa, Poland
tel.: +48 22 6839276, fax.: +48 22 6837370
e-mail: j.jackowski@wme.wat.edu.pl*

Zdzisław Hryciów

*Military University of Technology
ul. Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa, Poland
tel.: +48 22 6839739, fax.: +48 22 6837382
e-mail: zhryciow@wat.edu.pl*

Abstract

In the paper chosen questions relating to the impact reaction of vehicle on subgrade caused by its movement over road unevenness were described. The problems of vehicles identification during armed conflicts and realizing tasks in frames of peacekeeping missions are introduced. The algorithm of vehicle identification process on the basis of subgrade vibrations caused by its movement was proposed. The model of analysed fragment of road surface worked out using the finite elements method (FEM) was described. The parameters characterizing separate layers of the road were passed. The method of construction loading by the pressure of wheels on road surface was passed as well as the general characteristics of analysed wheeled vehicles. The example results of simulating researches were put - the courses of accelerations and velocity of chosen point surface.

The method of detection of number vehicle axles on the basis of ground vibration using time – frequency distribution was described. The basic dependences of Wagner –Ville distribution were passed as well. In the paper the examples results of identification of vehicles with differing mass and number of axels were put.

Keywords: *transport, wheeled vehicle, identification, modelling, vibration*

BADANIA SYMULACYJNE UDAROWEGO ODDZIAŁYWANIA POJAZDU NA PODŁOŻE W ASPEKCIE MOŻLIWOŚCI JEGO ROZPOZNAWANIA

Streszczenie

W pracy opisano wybrane zagadnienia dotyczące udarowego oddziaływania pojazdu na podłoże wywołane jego ruchem po nierównościach drogi. Przedstawiono problematykę zdalnego rozpoznania pojazdów w czasie konfliktów zbrojnych i realizacji zadań w ramach misji pokojowych. Zaproponowano algorytm procesu rozpoznawania pojazdu na podstawie drgań podłoża wywołanych jego ruchem. Opisano model analizowanego fragmentu nawierzchni drogi opracowany przy wykorzystaniu metody elementów skończonych (MES). Podano parametry charakteryzujące poszczególne warstwy drogi. Podano sposób obciążania konstrukcji siłami nacisku kół na nawierzchnię drogi, a także ogólną charakterystykę analizowanych pojazdów kołowych. Zamieszczono przykładowe wyniki badań symulacyjnych – przebiegi przyspieszeń i prędkości wybranego punktu nawierzchni.

Opisano metodę detekcji liczby osi jezdnych samochodu na podstawie drgań gruntu wykorzystującą rozkłady czasowo-częstotliwościowe. Podano także podstawowe zależności rozkładu Wagnera-Ville'a. W pracy zamieszczono również przykładowe wyniki rozpoznania pojazdów różniących się masą oraz liczbą osi.

Słowa kluczowe: *transport, pojazd kołowy, rozpoznanie, modelowanie, drgania*

1. Wprowadzenie

W ostatnich latach w wielu armiach świata, szczególnie tych uczestniczących w konfliktach zbrojnych, misjach stabilizacyjnych i pokojowych działaniach antyterrorystycznych, znaczenia nabrała potrzeba posiadania systemu umożliwiającego zdalne rozpoznawanie zbliżającego się pojazdu (rys.1). Rozpoznanie dokonywane jest na podstawie rejestrowanych sygnałów oddziaływania pojazdu na otoczenie, najczęściej drgań podłoża i hałasu wywołanych ruchem pojazdów.

Ogólnie, w algorytmie pracy systemu identyfikacji pojazdów na podstawie drgań podłoża, możemy wskazać następujące procesy decyzyjne: wykrycie obecności pojazdu na monitorowanym obszarze (drodze), zarejestrowanie sygnału związanego z oddziaływaniem pojazdu, rozpoznanie pojazdu i wypracowanie decyzji „co zrobić” (np. zniszczyć). Przy czym największym problemem przy rozpoznawaniu celu jest odnalezienie takiej jego cechy, która pozwoli go w sposób wyraźny odróżnić od innych celów. Niestety, w dostępnej literaturze brakuje informacji o szczegółach działania systemów rozpoznawania pojazdów, a w szczególność o osobniczych informacjach przenoszonych przez sygnały drgań podłoża wywołanych ruchem różnych pojazdów.



Rys.1. System rozpoznawania pojazdów [1]

Fig.1. System of vehicles identification [1]

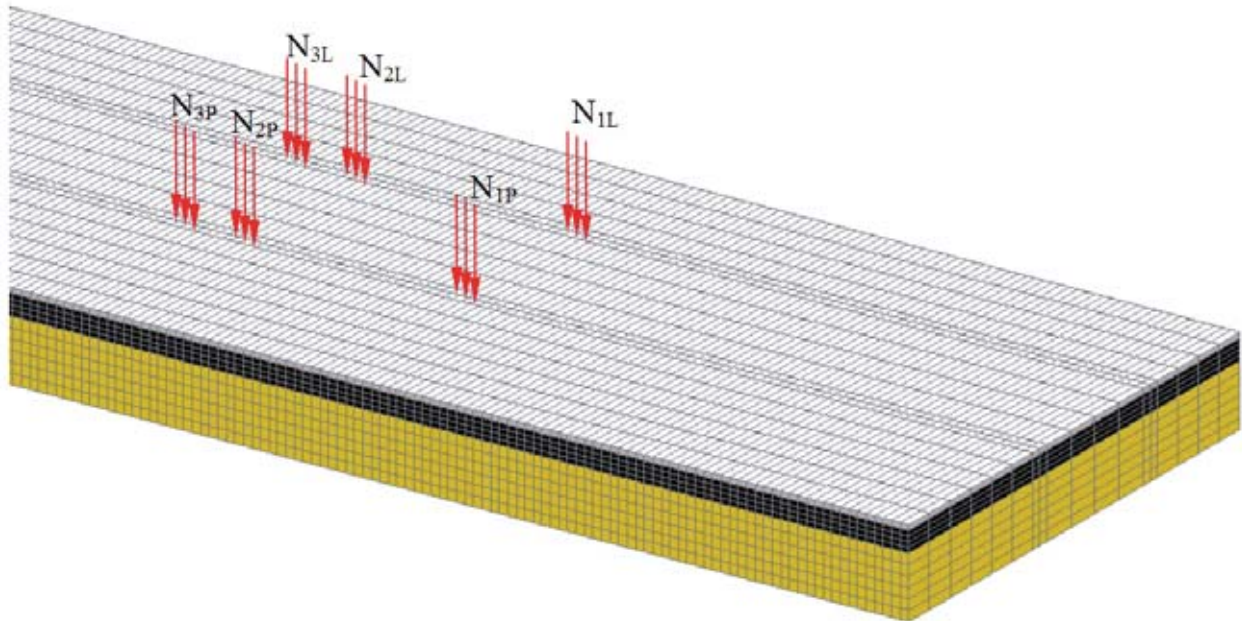
Celem pracy było opracowanie modelu dynamiki układu pojazd-podłoże w aspekcie możliwości oszacowania drgań podłoża wywołanych przez przemieszczający się pojazd i na tej podstawie detekcja liczby jego osi jezdnych.

2. Modelowanie drgań podłoża

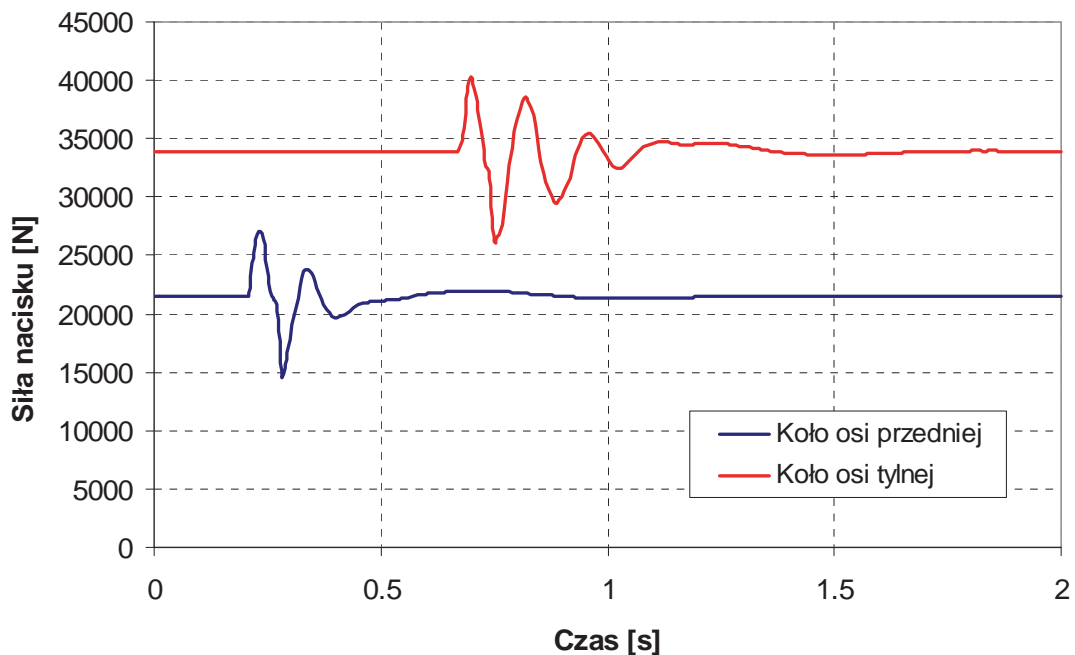
2.1. Model podłoża

Model dyskretny analizowanego fragmentu nawierzchni drogi przedstawiony jest na rys. 2. Zbudowany jest on z elementów bryłowych ośmiowęzłowych. Na całość modelu, w zależności od analizowanego typu pojazdu, składa się około 50 000 takich elementów. Łącznie model posiada około 100 000 stopni swobody.

Modelowanie zachowania podłoża pod obciążeniem zmieniającym się w czasie i przemieszczającym się po powierzchni podłoża wymagało przygotowania modelu gruntu, warunków podparcia oraz obciążenia. Szczególnie wyznaczenie warunków obciążenia (rozkładów nacisków na podłoże w poszczególnych chwilach czasu) jest niezwykle pracochłonne. Dlatego podczas jego wyznaczania wykorzystano procedurę służącą do automatyzacji tego procesu. Wyznacza ona rozkłady obciążeń na podstawie zadanego przebiegu sił nacisku kół jezdnych na nawierzchnię drogi (rys. 3) oraz na podstawie danych geometrycznych (rozstaw kół i osi pojazdu, wielkość obszaru styku opony z nawierzchnią). Przebieg sił nacisku poszczególnych kół wyznaczany jest przy wykorzystaniu odrębnego oprogramowania.



Rys. 2. Model dyskretny
Fig. 2. Discrete model



Rys. 3. Przykładowy przebieg sił nacisku kół na nawierzchnię drogi
Fig. 3. The example course of the pressure of wheels on road surface

2.2. Wyniki obliczeń numerycznych

Do badań wykorzystano zróżnicowane pod względem masy i konstrukcji (liczba i rozstaw osi) pojazdy kołowe. Ogólną charakterystykę tych pojazdów przedstawiono w tabeli 1. Wymuszeniem wprowadzanym do modelu drgań gruntu był zmienny w czasie nacisk kół jezdnych na nawierzchnię drogi, generowany w trakcie przejazdu pojazdu z prędkością 30km/h po przeszkodzie o zadanim.

Tab. 1. Ogólna charakterystyka analizowanych pojazdów kołowych
Tab. 1. The general characteristics of analysed wheeled vehicles

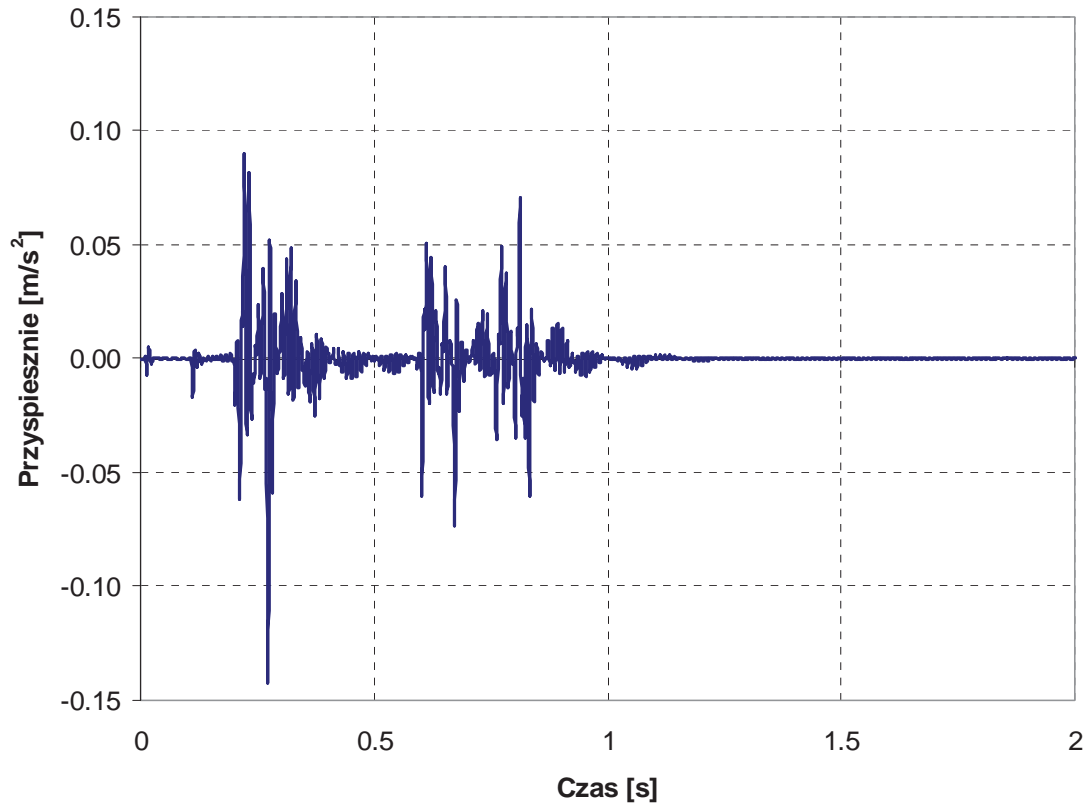
Pojazd	Tarpan Honker	Star 1142	Star1366	Star1466
Parametry				
Masa pojazdu bez ładunku / z ładunkiem [kg]	2 100 / 2 950	5 150 / 11 500	7 100 / 13 000	8 000 / 14 000
Liczba osi; n	2	2	3	3
Rozstaw osi [m]	2,83	3,90	3,31 / 1,35	3,31 / 1,35
Rodzaj zawieszenia	sztywna belka osi, podłużne resory piórowe	sztywna belka osi, podłużne resory piórowe	sztywna belka osi, podłużne resory piórowe odwrócone (z tyłu w układzie odwróconym)	sztywna belka osi, podłużne resory piórowe odwrócone (z tyłu w układzie odwróconym)

Analizowany fragment nawierzchni drogi składał się z warstwy wierzchniej wykonanej z asfaltu, z podkładu betonowego oraz piaskowej warstwy spodniej. Model podłoża oraz parametry fizyczne poszczególnych warstw zostały zweryfikowane na podstawie wyników eksperymentalnych uzyskanych przy wykorzystaniu maszyny FWD [2]. Parametry poszczególnych materiałów przyjęte do obliczeń przedstawione są w tabeli 2.

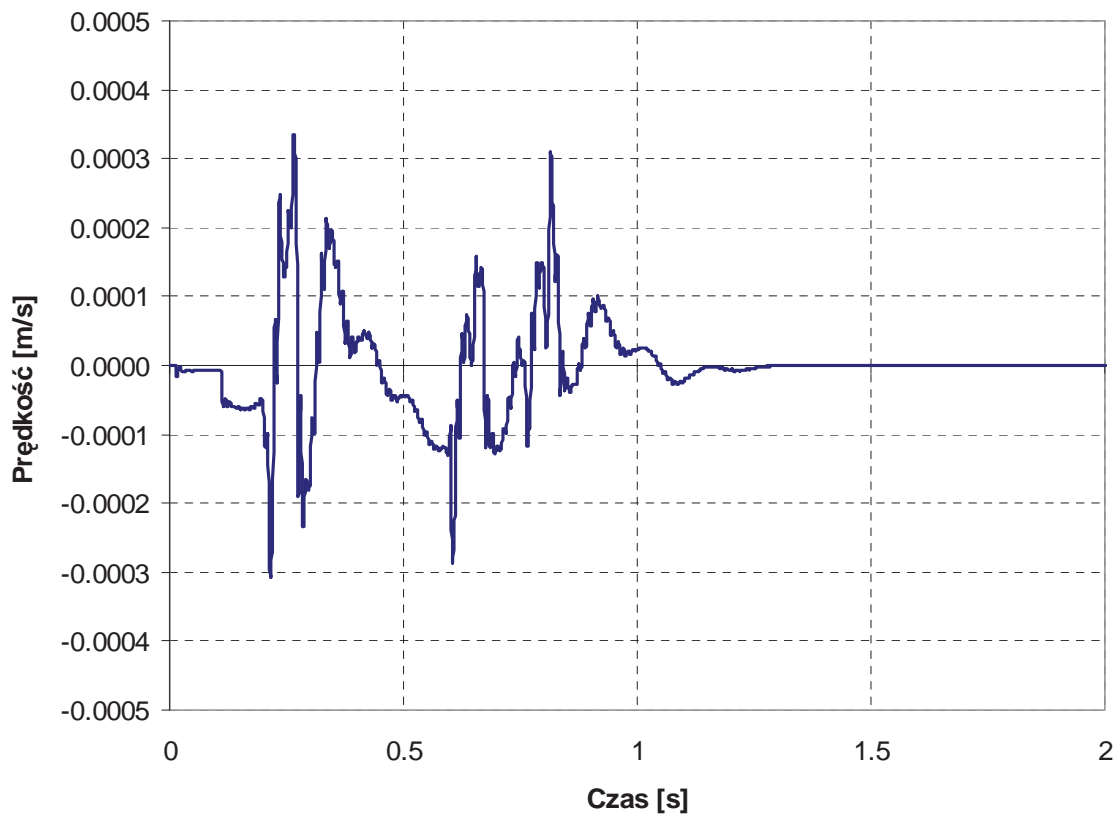
Tab. 2. Parametry materiałów i grubości warstw
Tab. 2. Parameters of materials and thickness of layers

Lp.	Materiał	Parametry materiału		
		moduł Younga [MPa]	gęstość [kg/m ³]	grubość warstwy [m]
1.	asfalt	6000	2300	0,05
2.	beton	30000	2500	0,2
3.	piasek	80	2000	0,6

Wyniki badań symulacyjnych uzyskano dla przejazdu samochodu ciężarowego po nawierzchni o określonym profilu z dodatkową przeszkodą (półwałec o promieniu 0,05 m). Przedstawione wyniki zostały uzyskane dla punktu znajdującego się obok progu w odległości 1 m od prawego koła. Na rys. 4 przedstawiono przykładowy przebieg przyspieszeń pionowych punktu otrzymany w wyniku obliczeń numerycznych dla pojazdu trzyosiowego (Star 1366), natomiast na rys. 5 odpowiadający mu przebieg prędkości pionowej. Wyniki te stanowiły dane wejściowe w algorytmie detekcji liczby osi jezdnych pojazdu.



Rys. 4. Przyspieszenie pionowe punktu nawierzchni drogi – pojazd trzyosiowy
Fig. 4. The vertical acceleration of point of road surface - three axles vehicle



Rys. 5. Prędkość pionowa punktu nawierzchni drogi – pojazd trzyosiowy
Fig. 5. The vertical velocity of point of road surface - three axles vehicle

3. Detekcja liczby osi jezdnych samochodu

Jednym ze źródeł generacji rejestrowanych sygnałów drgań jest zaburzenie powstałe przy przejeździe osi pojazdu przez założoną nierówność. Zaburzenie to powinno objawiać się powstaniem ostrych maksimów w rozkładzie energii sygnału wzdłuż osi czasu w chwilach związanych z najazdem poszczególnych osi. Do opisu rozkładu energii $E(t)$ drgań wykorzystano rozkład czasowo-częstotliwościowy Wignera-Ville'a funkcji gęstości energii $S_{wv}(t, f)$, stosowanych w analizie sygnałów niestacjonarnych, spełniającej następującą relację brzegową:

$$E(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} S_{wv}(t, f) df, \quad (1)$$

$$S_{wv}(t, f) = \int_{-\infty}^{+\infty} x\left(t + \frac{\tau}{2}\right)x\left(t - \frac{\tau}{2}\right)\exp(-j2\pi f\tau) d\tau, \quad (2)$$

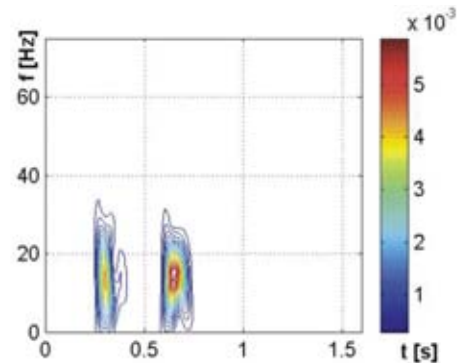
gdzie:

$E(t)$ – energia chwilowa sygnału.

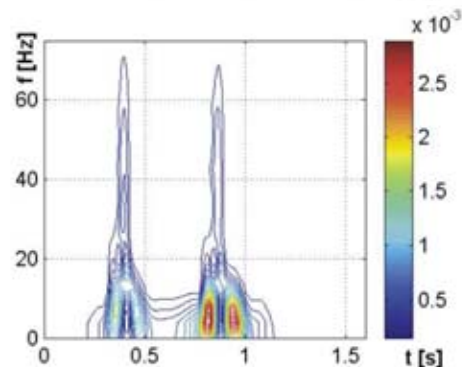
Na rys. 6 i 7 zestawiono wybrane przebiegi struktury czasowo-częstotliwościowej drgań podłoża zarejestrowane podczas pokonywania pojedynczej nierówności. Natomiast na rys. 8 przedstawiono algorytm procesu detekcji liczby osi jezdnych samochodu dokonywany na podstawie struktury czasowo-częstotliwościowej drgań podłoża wywołanych ruchem pojazdu. Na podstawie rozkładu czasowo-częstotliwościowego określono, zgodnie z podaną zależnością $E(t)$, energię chwilową sygnału. Widoczne na rozkładzie energii maksima (w liczbie 2) odpowiadają poszczególnym osiom.

Widoczne na rys. 9 lokalne maksima precyzyjnie wskazują liczbę osi pojazdu. Zaproponowana metoda w 100% prawidłowo wskazała liczbę osi jezdnych.

TARPAN HONKER
pojazd 2-osiowy

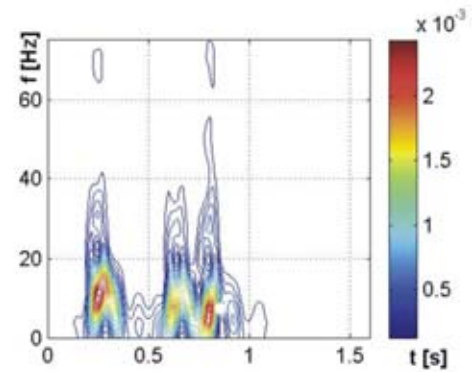


STAR-1142
pojazd 2-osiowy

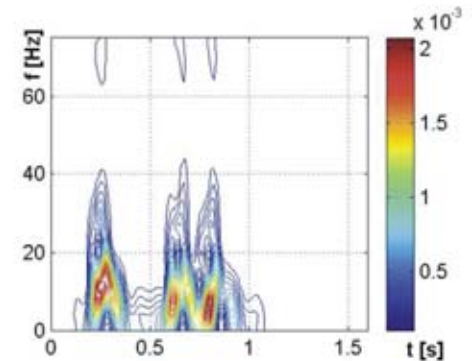


Rys.6. Rozkład czasowo-częstotliwościowy prędkości drgań podłoża ($v=30\text{km/h}$) – pojazdy dwuosiowe
Fig.6. The time - frequency distribution of velocity of subgrade vibrations ($v = 30 \text{ kmph}$) – two axles vehicles

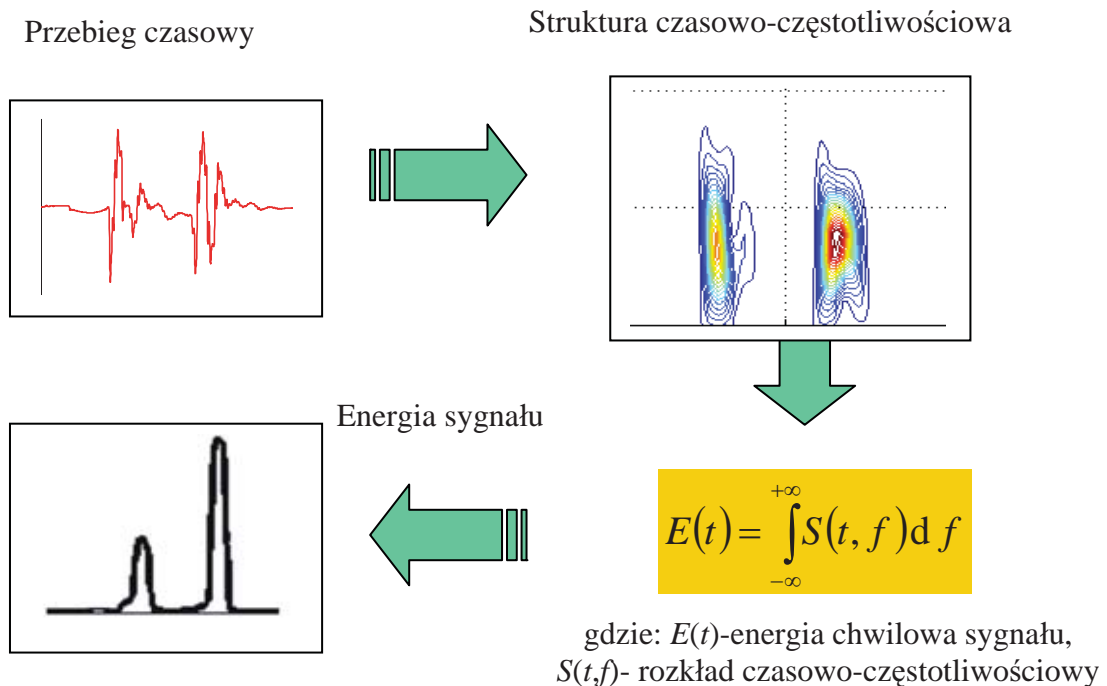
STAR-1366
pojazd 3-osiowy



STAR-1466
pojazd 3-osiowy



Rys.7. Rozkład czasowo-częstotliwościowy prędkości drgań podłoża ($v=30\text{km/h}$) – pojazdy trzyosiowe
Fig.7. The time - frequency distribution of velocity of subgrade vibrations ($v = 30 \text{ kmph}$) – three axles vehicles

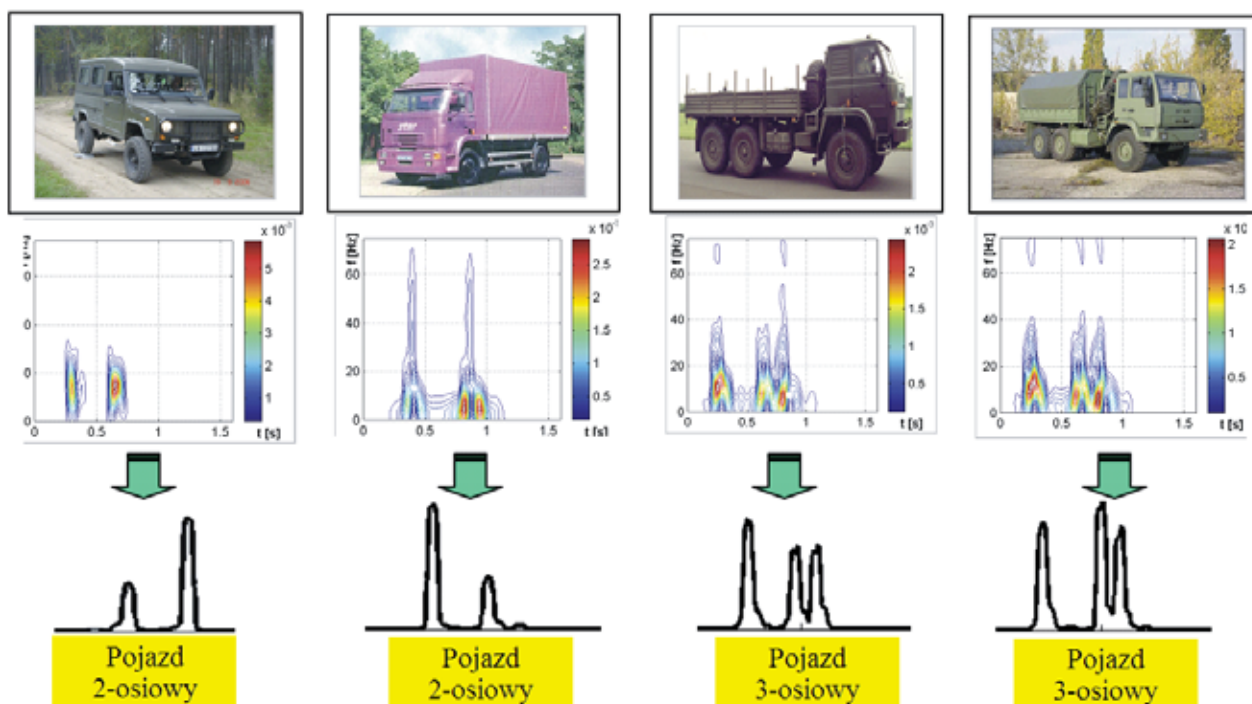


Rys.8. Proces detekcji liczby osi pojazdu
Fig.8. Process of detection of vehicle axles number

4. Podsumowanie

Przedstawione wyniki obliczeń numerycznych drgań podłoża wywołanych ruchem pojazdu mają wstępny charakter. Na ich podstawie można stwierdzić, że istnieje możliwość rozpoznania liczby osi pojazdu. Wprowadzając jednak taki detektor (w systemie rozpoznawania pojazdu)

umożliwiający wstępne różnicowanie obiektów np. ze względu na liczbę osi jezdnych można osiągnąć większą skuteczność klasyfikacji pojazdów. Tym samym ewentualny zakres błędów klasyfikacji zostaje zawężony do błędów między pojazdami o tej samej liczbie osi. Nie jest więc możliwe pomylenie np. pojazdu 2-osiowego z 3-osiowym.



Rys. 9. Wyznaczenia liczby osi pojazdu kołowego na podstawie rozkładu czasowo-częstotliwościowego
Fig. 9. Assignment the number of wheeled vehicle axles on the basis of time – frequency distribution

Przedstawione wyniki otrzymano dla drogi utwardzonej złożonej z trzech warstw, których parametry fizyczne zostały określone na drodze wcześniejszych eksperymentów z użyciem maszyny FWD oraz obliczeń numerycznych dla obciążenia impulsowego. Przeprowadzone badania weryfikacyjne [2] wskazały na zadawalającą wiarygodność opracowanych modeli matematycznych. Autorzy mają świadomość potrzeby dalszego doskonalenia modelu, szczególnie w odniesieniu do podłoża nieutwardzonego i przy symulacji drgań podłoża w obszarach znacznie oddalonych od punktu przyłożenia obciążenia (wymuszenia). Opracowany model symulacyjny ułatwić może, w toku następnych prac, poszukiwanie i wskazanie charakterystycznych cech drgań sejsmicznych i w efekcie zgromadzenie bazy danych wzorców cech charakterystycznych sygnałów drgań różnych konstrukcji podłoża wywołanych ruchem rozpatrywanych pojazdów.

Literatura

- [1] Jackowski, J., Wieczorek, M., *Systemy identyfikacji pojazdów na współczesnym polu walki*, VIII Międzynarodowe Sympozjum IPM, Doskonalenie konstrukcji oraz metod eksploatacji pojazdów mechanicznych, Cz.2, Warszawa-Rynia 2002.
- [2] Hryciów, Z., Jackowski, J., Ławniczak, S., *Modelowanie i symulacja drgań w podłożu wywołanych stacjonarnym wymuszeniem*, Prace Naukowe 2(20), Transport, Politechnika Radomska 2004.