

JERZY JACKOWSKI, LEON PROCHOWSKI*

IDENTYFIKACJA LICZBY OSI JEZDNYCH SAMOCHODU NA PODSTAWIE DRGAŃ PODŁOŻA

IDENTIFICATION OF VEHICLE DRIVING AXLES ON THE BASIS OF THE SUBGRADE VIBRATION

Streszczenie

W niniejszym artykule uwagę skupiono na wskazaniu możliwości identyfikowania liczby osi jezdnych poruszającego się pojazdu wojskowego na podstawie wyjawionych informacji z sygnału drgań podłoża. Porównano skuteczność zastosowania trzech alternatywnych metod analizy sygnału drgań podłoża, wywołanego przejazdem sześciu pojazdów, zróżnicowanych pod względem liczby i rozstawu osi jezdnych.

Słowa kluczowe: drgania podłoża, identyfikacja pojazdu

Abstract

This work focuses on showing a possibility of identification of moving military vehicle's number of axles based on information obtained from ground vibration signal. Effectiveness of using three alternative methods of analysis of ground vibration signal incurred by passage of six, differentiated by number of axles and wheel base, has been compared.

Keywords: ground vibration, vehicle identification

* Dr inż. Jerzy Jackowski, prof. dr hab. inż. Leon Prochowski, Katedra Pojazdów Mechanicznych i Transportu, Wydział Mechaniczny, Wojskowa Akademia Techniczna.

1. Wstęp

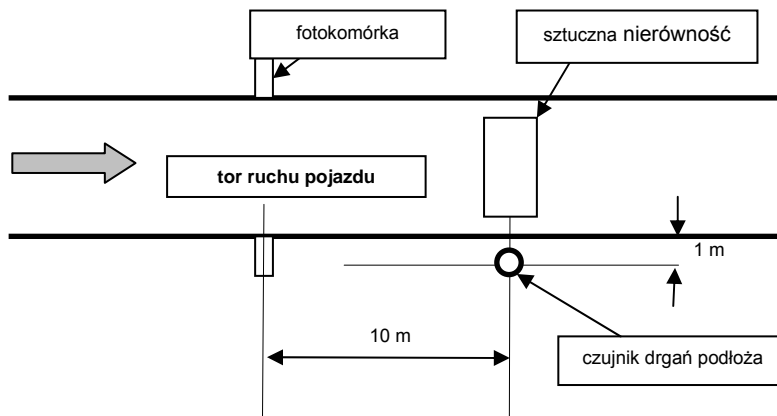
Jednym z podstawowych źródeł obciążeń dynamicznych podłoża są drgania kół jezdnych, wywołane oddziaływaniem od nierówności drogi na poruszający się pojazd. Właśnie one są przyczyną powstawania największych wartości przyspieszeń i obciążeń kół jezdnych, które następnie przejmowane są przez podłoże. Z tego powodu większość autorów opisujących drgania podłoża wywołane ruchem pojazdów wskazuje na ich szkodliwe oddziaływanie na budowlę drogowe [1, 2].

Drgania i obciążenie podłoża wykorzystywane są także w systemach detekcji i identyfikacji ruchu pojazdu. Systemy detekcji stosuje się np. do wykrywania obecności pojazdów w sterowaniu ruchem drogowym. Natomiast identyfikacja pojazdów na podstawie drgań podłoża wywołanych ruchem pojazdów coraz częściej wykorzystywana jest na potrzeby rozpoznawania wojskowego.

W artykule uwagę skupiono na ustaleniu możliwości identyfikowania liczby osi jezdnych poruszającego się pojazdu wojskowego na podstawie wyjawionych informacji z sygnału drgań podłoża. Drgania podłoża wywołane przejazdem przez sztuczną nierówność posiadają wyraźne dominanty, które są widoczne w pomierzonych sygnałach. Określenie liczby tych dominant może więc wskazywać na cechę sygnału, która niesie informację o liczbie osi jezdnych pojazdu.

2. Warunki badań

Analizę możliwości wyjawienia informacji o liczbie osi kół jezdnych przeprowadzono na podstawie sygnałów drgań podłoża, które zmierzono podczas przejeżdżania pojazdem przez pojedynczą sztuczną nierówność umieszczoną na podłożu [3, 4]. Schemat rozmieszczenia elementów toru pomiarowego pokazano na rys. 1. Do badań wybrano sześć pojazdów zróżnicowanych pod względem liczby i rozstawu osi. Badania prowadzono na podłożu asfaltowym. W celu zachowania pełnej powtarzalności miejsca wyzwalania pomiaru

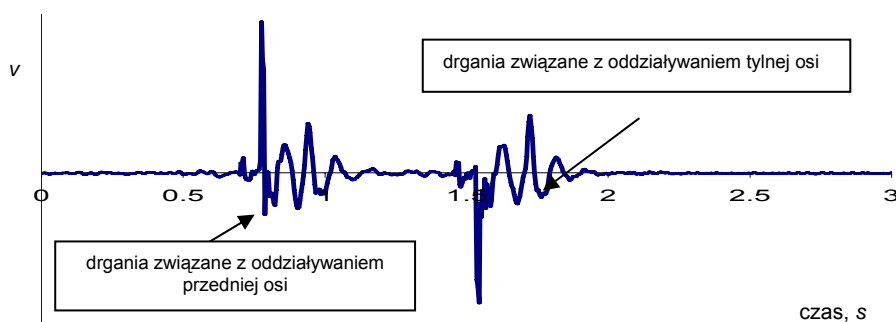


Rys. 1. Elementy toru pomiarowego drgań podłoża

Fig. 1. Elements of ground vibration measurement set

w układzie pomiarowym zastosowano fotokomórkę, która uruchamiała pomiar za każdym razem w tym samym miejscu toru ruchu obiektu badań. Rezultatem pomiaru był zbiór dyskretnych wartości prędkości drgań, który następnie poddano zabiegowi standaryzacji.

W chwili najazdu poszczególnych kół na nierówność znacznie rośnie poziom drgań podłoża, widoczny na rys. 2.



Rys. 2. Przebieg sygnału prędkości drgań podłoża wywołany ruchem pojazdu 2-osiowego ($V = 15$ km/h)

Fig. 2. Ground vibration velocity signal waveform. Vibration caused by passage of two-axle vehicle moving with $V = 15$ km/h

Celem artykułu jest rozwijanie metod analizy sygnału drgań podłoża i wskazanie procedury identyfikacji pojazdu. Poniżej zastosowano trzy alternatywne sposoby wyjawiania z obserwowanego sygnału informacji o liczbie osi jezdnych:

- 1) przez pseudofiltrację górnoprzepustową, wykonaną metodą przedziału ślizgającego się o zadanej długości,
- 2) przez potęgowanie wartości sygnału,
- 3) z zastosowaniem rozkładu czasowo-częstotliwościowego Wignera–Ville'a.

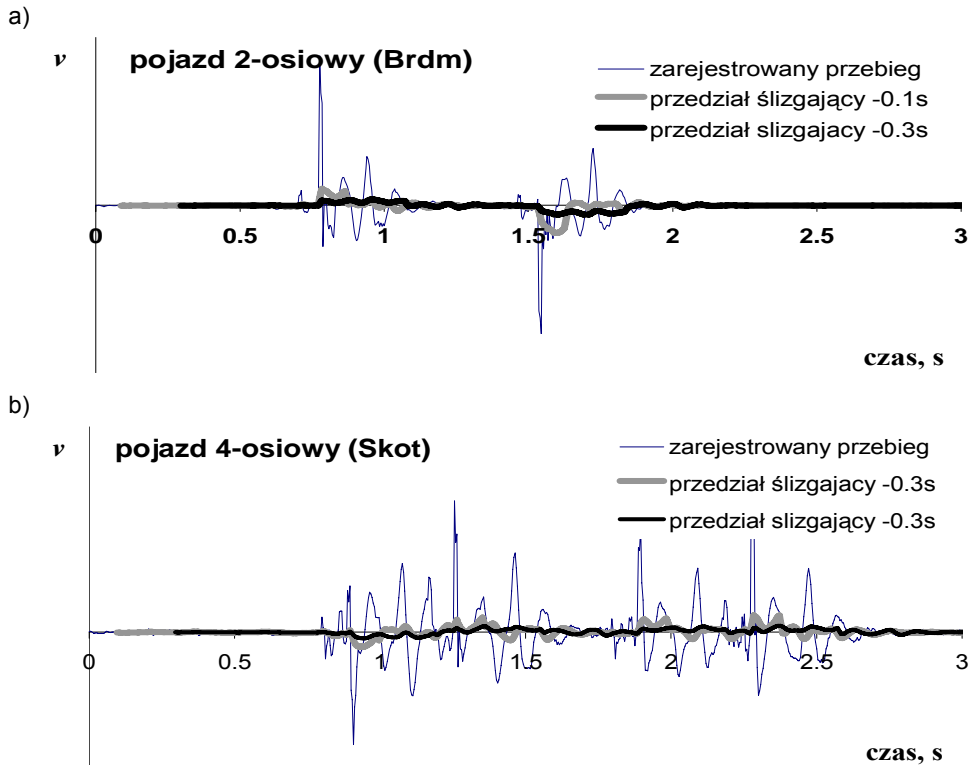
3. Metoda przedziału ślizgającego

Najprostszym sposobem wyznaczania rozkładu energii sygnału wzdłuż osi czasu jest określenie jego wartości lokalnej, uśrednionej w zakresie przesuwanego się okna (przedziału ślizgającego), uwypuklającego tym samym chwilowe procesy zachodzące w sygnale. Na rysunku 3 linią pogrubioną zaznaczono przebieg sygnału uśredniony w przedziale 0,1 s i 0,3 s, co odpowiada w przybliżeniu obcięciu pasma sygnału powyżej 10 i 3,3 Hz.

W zarejestrowanym przebiegu drgań wywołanym ruchem pojazdu 2-osiowego wyraźnie oddzielone są odcinki czasowe związane z oddziaływaniem poszczególnych osi jezdnych i z łatwością można wskazać dwie wartości ekstremalne z zastosowaniem odpowiednich procedur obliczeniowych związanych kolejno z:

- wykorzystaniem przedziału ślizgającego 0,1 s do wygładzenia przebiegu sygnału (rys. 3a),
- wyjawieniem i usystematyzowaniem lokalnych wartości ekstremalnych,

- wyeliminowaniem tych wartości ekstremalnych, pomiędzy którymi odstęp czasowy jest mniejszy niż 0,24 s,
- wyznaczeniem odległości między dwoma największymi (co do wartości bezwzględnej) z wydzielonych wartości ekstremalnych.

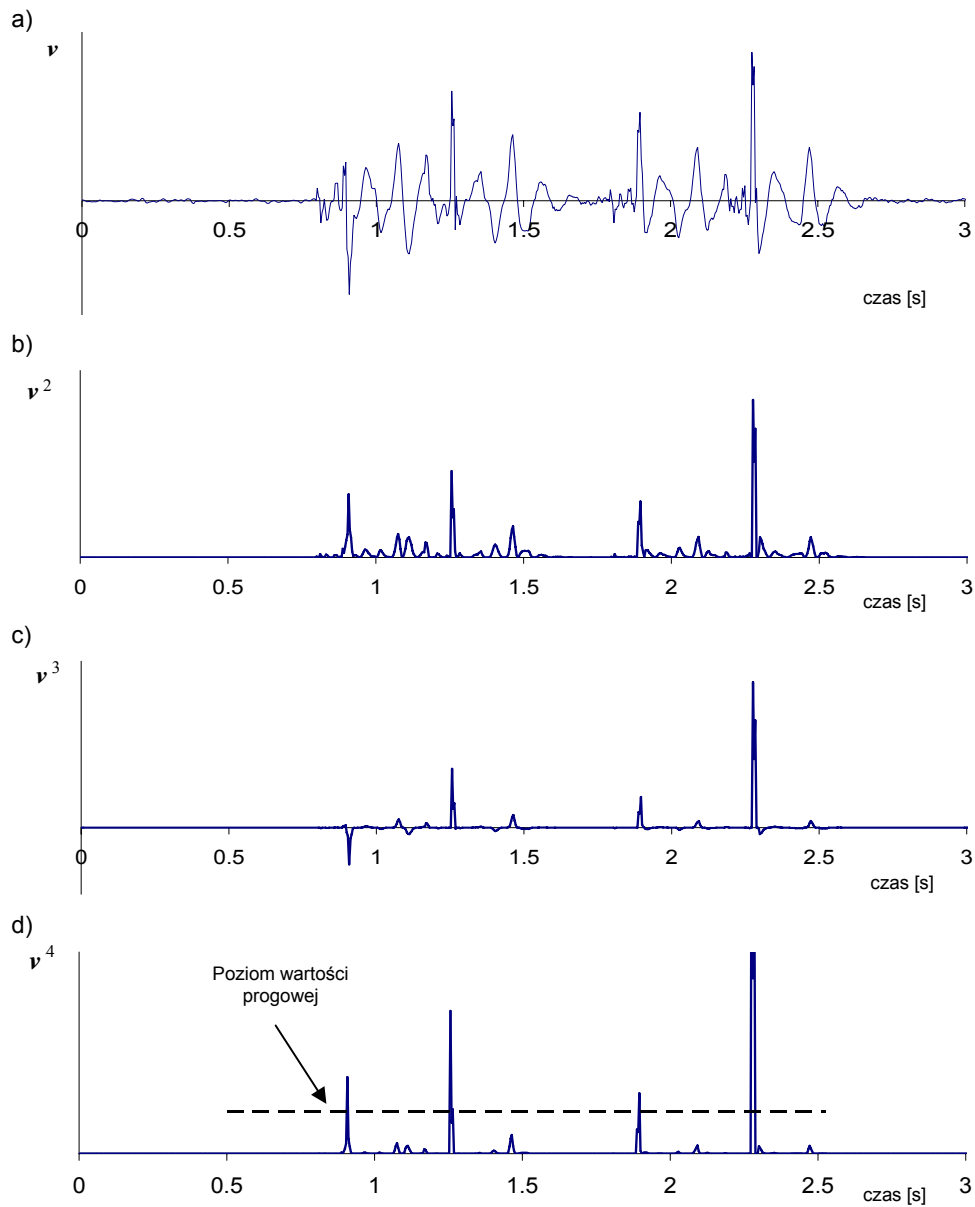


Rys. 3. Zestawienie przebiegów prędkości drgań podłoża wywołanych ruchem pojazdu 2-osiowego (a) i 4-osiowego (b) ($V = 15 \text{ km/h}$)

Fig. 3. Comparison of waveforms of ground vibration caused by movement of two-axle (a) and four-axle vehicle velocity (b) ($V = 15 \text{ km/h}$)

Liczba i położenie wydzielonych w ten sposób wartości ekstremalnych z przebiegu sygnału drgań podłoża odpowiada liczbie osi w pojeździe.

Natomiast wykonanie podobnej operacji na przebiegu drgań wywołanych ruchem pojazdu 4-osiowego nie daje poprawnego wyniku identyfikacji liczby osi jezdnych. Wówczas bowiem drgania podłoża wywołane oddziaływaniem kolejnych osi jezdnych nakładają się i dlatego uśrednianie przebiegu w zakresie przesuwanego się okna nie pozwala na wyjawienie lokalnych wartości ekstremalnych, których liczba odpowiadałaby liczbie osi jezdnych (rys. 3b).



Rys. 4. Przebieg drgań podłoża wywołany przejazdem pojazdu 4-osiowego (Skot, $V = 15$ km/h) i kolejne potęgi wartości sygnału, odpowiednio: do drugiej potęgi (b), do trzeciej (c), czwartej (d)

Fig. 4. Waveform of ground vibration caused by four-axle vehicle (Skot, $V = 15$ km/h) and consecutive exponents of signal value, respectively second (b), third (c) and fourth grade (d)

4. Potęgowanie wartości sygnału

Graficzną postać kolejnych potęg wartości obserwowanego sygnału pokazano na rys. 4. Przy czym dla wyeliminowania efektu skali, sygnał poddano zabiegowi standaryzacji. Na rysunku przedstawiono postępujący proces uwypuklenia interesujących nas szczytowych wartości przebiegu. Ich występowanie na osi czasu może odpowiadać chwilom najazdu przez koła na nierówność, widoczną na tle pozostałych wartości. Zatem liczba lokalnych ekstremów (jaka występuje po przekroczeniu odpowiednio dobranego poziomu wartości progowej) przebiegu drgań podłoża to charakterystyczna cecha sygnału, która może być informacją o liczbie osi samochodu. Wartość progowa została ustalona w oddzielnej procedurze.

W tabeli 1 (w kolumnach 2, 3, 4) zestawiono liczbę lokalnych ekstremów przebiegu zarejestrowanych sygnałów drgań podłoża, które wyznaczono z zastosowaniem transformacji w postaci podniesienia wartości sygnału do potęgi czwartej. Następnie porównano wyznaczoną liczbę lokalnych ekstremów z liczbą osi jezdnych pojazdu, którego przejazd wywołał zarejestrowaną i poddaną analizie realizację drgań podłoża (tab. 1, kolumna 6).

Zastosowana metoda potęgowania wartości zarejestrowanego sygnału pozwala na różnicowanie lokalnych ekstremów w jego przebiegu i prawidłowo wskazuje liczbę osi jezdnych pojazdu, ale gdy odstęp czasowy między oddziaływaniem osi jest większy niż 0,2, ..., 0,3 s. W praktyce oznacza to, że dla pojazdów, w których osie jezdne znajdują się blisko siebie, brak jest możliwości poprawnego wskazania liczby osi jezdnych.

T a b l i c a 1

Liczba lokalnych ekstremów przebiegu drgań podłoża

Liczba lokalnych ekstremów przebiegu obwiedni drgań podłoża				Pojazd	Dane fabryczne	
nr wybranej realizacji drgań podłoża	prędkość pojazdu [km/h]				liczba osi	rozstaw osi (między osiami 1 i 2/2-3/3-4) [m]
	15	25	35			
1	2	3	4	5	6	7
1	2	2	2	BRDM2	2	3.1
6	4	2	2	SKOT	4	1.3/2.15/1.3
11	3	3	3	BAZ	3	2.8/2.6
16	2	2	2	STAR266	3	2.3/1.25
21	4	2	2	TATRA	4	1.65/3.1/1.45
26	2	2	2	KRAZ255	3	3.9/1.4

5. Wykorzystanie rozkładu czasowo-częstotliwościowego do wyjawienia liczby osi jezdnych

Kolejna metoda wyjawienia informacji o liczbie osi jezdnych z sygnału drgań podłoża polega na wykorzystaniu estymatora wartości energii chwilowej drgań podłoża wzdłuż osi

czasu zarejestrowanego przebiegu. Energia kinetyczna jest funkcją masy drgającej i prędkości drgań ($E_K = f(m, v^2)$). Przyjmując, że masa drgająca jest stała, zmiana prędkości drgań powoduje w kwadracie zmianę energii drgań. Zatem pomierzone drgania podłoża wywołane przejazdem przez nierówność objawiają się powstaniem wyraźnych dominant w rozkładzie energii chwilowej sygnału drgań podłoża wzdłuż osi czasu. Określenie liczby tych dominant może więc wskazywać na cechę sygnału, która niesie informację o liczbie osi jezdnych pojazdu.

Estymator wartości energii chwilowej drgań podłoża określono z rozkładu czasowo-częstotliwościowego Wignera–Ville’a

$$E(t) = \sum_f S_{wv}(t, f) \quad (1)$$

gdzie:

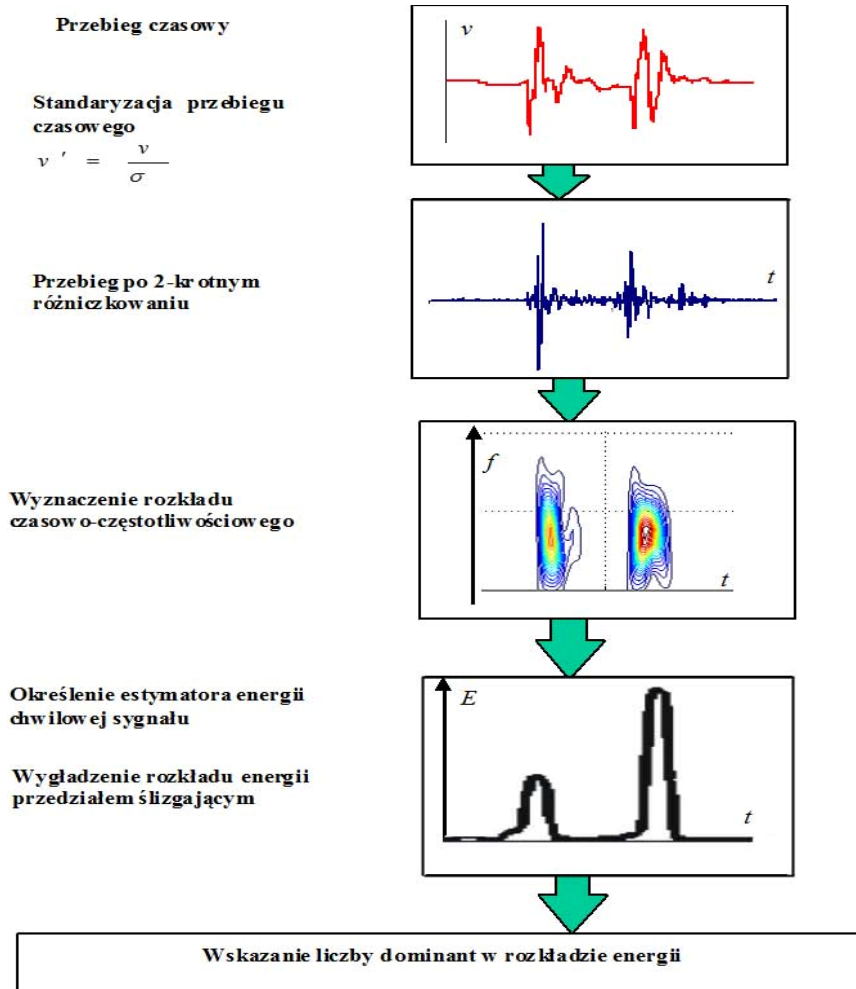
- $E(t)$ – estymator wartości energii chwilowej sygnału drgań podłoża,
- f – pasmo częstotliwości zarejestrowanego sygnału ($f = 80$ Hz),
- $S_{wv}(t, f)$ – estymator rozkładu czasowo-częstotliwościowy Wignera–Ville’a [3].

Wykorzystywany rozkład Wignera–Ville’a charakteryzuje się tym, że oferuje jedno z najlepszych parametrów rozdzielczości czasowej i częstotliwościowej przy dość wysokiej wydajności obliczeniowej w porównaniu do innych znanych rozkładów czasowo-częstotliwościowych [4].

Na rysunku 5 przedstawiono algorytm procesu wyznaczania liczby dominant, dokonywany na podstawie sygnału drgań podłoża. Widoczne na rozkładzie energii dominanty (w liczbie 2) odpowiadają poszczególnym osiom jezdnych. W algorytmie przetwarzania sygnału pomiarowego dodatkowo zastosowano:

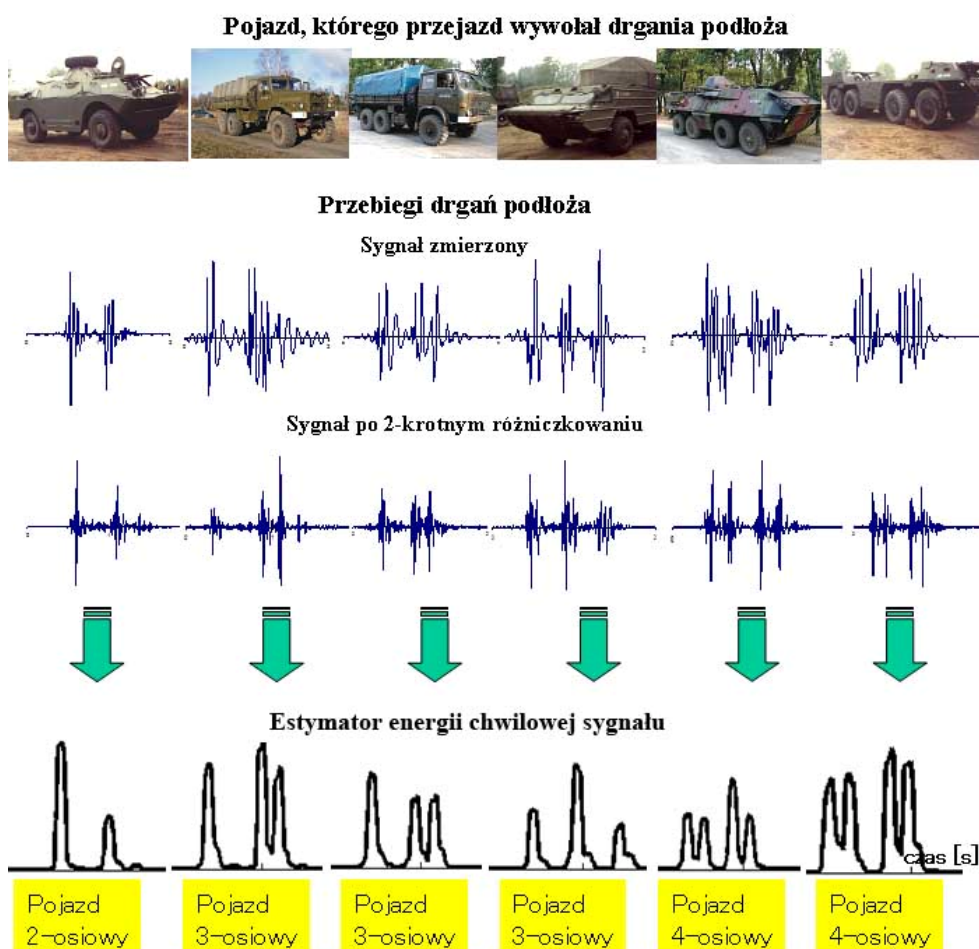
- standaryzację sygnału drgań podłoża (podzielenie kolejnych wartości sygnału przez wartość odchylenia standardowego δ),
- procedurę 2-krotnego różniczkowania zmierzonego sygnału, który uwydatnił zachodzące w nim gwałtowne zmiany wartości chwilowych,
- wygładzenie przebiegu rozkładu energii przedziałem ślizgającym,
- procedurę eliminacji lokalnych wartości ekstremalnych, pomiędzy którymi odstęp czasowy jest mniejszy niż $t = L_{\min}V$ (gdzie: L_{\min} – założona wartość minimalnej odległości pomiędzy osiami jezdnych pojazdu, V – prędkość jazdy).

Na rysunku 6 przedstawiono wyniki procesu wyjawiania liczby dominant w rozkładzie energii drgań podłoża, których liczba odpowiada liczbie osi jezdnych pojazdu. W ten sposób pokazano związek wskazanej cechy sygnału (rozkład energii) drgań podłoża z oddziaływaniem osi jezdnych pojazdu. Zaproponowana metoda może być więc wykorzystana do rozpoznania liczby osi jezdnych pojazdu, którego ruch wywołał zarejestrowane drgania podłoża.



Rys. 5. Proces rozpoznawania liczby dominant

Fig. 5. Dominants number recognition process



Rys. 6. Zobrazowanie metody wyjawiania informacji o liczbie osi jezdnych pojazdu kołowego na podstawie sygnału drgań podłoża ($V = 35$ km/h)

Fig. 6. Illustration of method of obtaining wheeled vehicle's axles number from ground vibration signal ($V = 35$ km/h)

6. Podsumowanie

Przedstawione w artykule wyniki jednoznacznie wskazują, że spośród wymienionych metod analizy sygnałów drgań podłoża rozkład czasowo-częstotliwościowy drgań podłoża i wskazana liczba lokalnych ekstremów w rozkładzie energii chwilowej drgań pozwalają najprecyzyjniej wyjawiać informację o liczbie osi jezdnych w pojeździe, którego przejazd wymusił zarejestrowane drgania.

Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2005–2008 jako projekt badawczy.

Literatura

- [1] Ciesielski R., Maciąg E., *Drgania drogowe i ich wpływ na budynki*, WKiŁ, Warszawa 1990.
- [2] Cristino M., D'apuzzo M., *Measurement and prediction of traffic-induced vibrations in a heritage building*, Journal of Sound and Vibration 246, 2001.
- [3] Jackowski J., *Drgania podłoża wywołane ruchem pojazdów*, Biuletyn WAT 11/2002, Vol. LI.
- [4] Jackowski J., Prochowski L., *Analiza możliwości rozpoznania typu pojazdu na podstawie drgań podłoża*, Archiwum Motoryzacji 4, 2004.
- [5] Ville J., *Theorie et applications de la notion de signal analytique*, Cables Transmiss 20A (1948), 61-74.
- [6] Moczko J.A., Kramer L., *Cyfrowe metody przetwarzania sygnałów biomedycznych*, Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza, Poznań 2001.