

## ANALIZA MOŻLIWOŚCI WYKORZYSTANIA SYGNAŁU AKUSTYCZNEGO DO MONITOROWANIA STANU PRZEJEŹDZAJĄCYCH POJAZDÓW

Grzegorz KLEKOT, Piotr DEUSZKIEWICZ

Instytut Podstaw Budowy Maszyn Politechniki Warszawskiej  
02-524 Warszawa, Narbutta 84, fax 660 8622, email gkl@simr.pw.edu.pl

### Streszczenie

Pojazdy poruszające się po polskich drogach bywają częściowo niesprawne technicznie, zaś liczne samochody ciężarowe przewożą nadmierne ładunki, co skutkuje przyspieszoną degradację nawierzchni dróg. Postawiono hipotezę, że sygnał akustyczny przejeżdżających pojazdów można wykorzystać na potrzeby wnioskowania o ich stanie technicznym i ewentualnym przeciążeniu. Przeprowadzono badania plenerowe polegające na rejestracji dźwięku generowanego przez pojazdy w sąsiedztwie odcinka dwukierunkowej drogi ekspresowej o dobrej nawierzchni. Z wykorzystaniem analizy skupień wykonano pilotażową analizę możliwości monitorowania akustycznego stanu samochodów w ruchu. Rezultaty potwierdzają celowość wykorzystania sygnału akustycznego jako nośnika informacji diagnostycznej.

Słowa kluczowe: hałas, pojazdy, samochody ciężarowe

### ANALYSIS OF POTENTIAL USE OF ACOUSTIC SIGNAL FOR MONITORING THE STATE OF PASSING BY VEHICLES

#### Summary

Vehicles circulating in Poland are sometimes partially unserviceable, when many trucks are overloaded provoking relatively quicker degradation of road pavements. The hypothesis has been made that the acoustic signal from passing by vehicles could be used for inferring their technical state and possible overloading. The fieldwork has been done consisting of recording of the sound generated by vehicles near a fragment of two-way express way with a good pavement. Using cluster analysis the preliminary analysis of monitoring possibilities has been done for the monitoring of acoustic state of vehicles in motion. The results confirm that acoustic signal can be adequately used as a carrier of diagnostic information.

Key words: noise, vehicles, trucks

## 1. WPROWADZENIE

Autorzy referatu uczestniczyli w badaniach akustycznych prowadzonych na potrzeby oceny zagrożenia hałasem komunikacyjnym terenów bezpośrednio sąsiadujących z drogami krajowymi. Obok wybranych odcinków dróg ośmiokrotnie przez 15 minut zmierzono równoważny poziom dźwięku A w punkcie pomiarowym leżącym 10 m od skrajnego pasa ruchu. Połowę pomiarów wykonywano podczas porannego, a połowę – popołudniowego szczytu komunikacyjnego. Każdorazowo pierwsze dwa pomiary prowadzono bez udziału policji, a kolejne dwa – po wystawieniu widocznych posterunków policyjnych przed punktem pomiarowym z obu kierunków ruchu.

Zgodnie z oczekiwaniami okazało się, że obecność policji istotnie dyscyplinuje uczestników ruchu drogowego, co skutkowało nieco niższym mierzonym równoważnym poziomem dźwięku A. Zaobserwowano zarazem, że pewien czas po wystawieniu posterunków w sposób zauważalny

spada liczba przejeżdżających ciężarówek. Powzięto przypuszczenie, że zjawisko takie może być spowodowane złym stanem technicznym lub nadmiernym przeciążeniem części taboru.

Poczynione spostrzeżenia poskutkowały podjęciem próby sprawdzenia, czy sygnał akustyczny może być źródłem informacji o stanie technicznym i ewentualnym przeciążeniu przejeżdżających pojazdów. W tym celu wykonano eksperyment polegający na rejestracji plenerowej przebiegów czasowych sygnałów akustycznych generowanych przez przejeżdżające pojazdy. Zarejestrowane sygnały stanowią podstawę rozważań przedstawionych w dalszej części referatu.

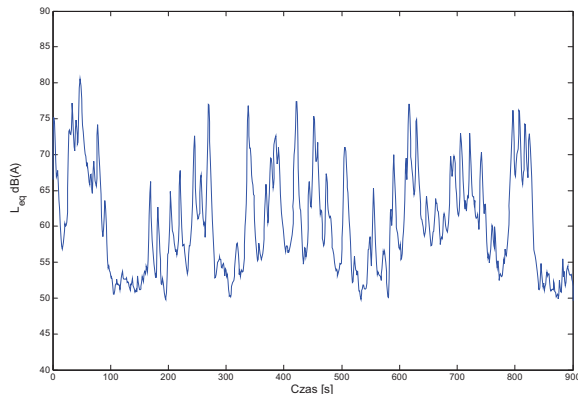
## 2. OCENA JAKOŚCIOWA

Badania plenerowe miały charakter typowego eksperymentu biernego: zarejestrowano sygnał akustyczny w sąsiedztwie odcinka dwukierunkowej drogi ekspresowej o dobrej nawierzchni, generowany przez przypadkowo przejeżdżające w obu kierunkach

pojazd. Rejestrację uzupełniono informacją o liczbie i rodzaju pojazdów.

Przejazdy w sąsiedztwie mikrofonu odbywały się nieregularnie: zdarzały się dłuższe przerwy i kumulacje obejmujące kilka samochodów bezpośrednio po sobie. Z punktu widzenia osiągnięcia założonych celów badawczych stanowi to pewną komplikację; niezbędnym okazało się wyodrębnienie fragmentów rejestracji użytecznych do prowadzenia wniosku diagnostycznego.

Ruch pojazdów odzwierciedlają zmiany poziomu dźwięku w trakcie eksperymentu. Na potrzeby selekcji odcinków czasowych do dalszego przetwarzania obliczono równoważne wartości poziomów ciśnienia akustycznego dla jednosekundowych fragmentów rejestracji. Przykładowe efekty przedstawiono na rysunku 1. Nietrudno wskazać miejsca odpowiadające nasilonemu ruchowi pojazdów.



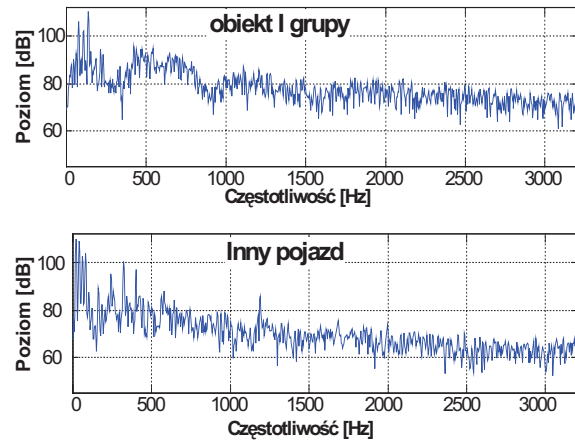
Rysunek 1. Zmiany równoważnego poziomu dźwięku podczas badań.

Przeprowadzona analiza jakościowa w powiązaniu z informacją o liczbie i rodzaju pojazdów pozwalają wyodrębnić odcinki czasowe sygnału akustycznego generowanego przez samochody ciężarowe. Każdy pełen przejazd podzielono na dwie części: zbliżanie i odjazd od punktu pomiarowego. Tak przygotowane próbki posłużyły do dalszych badań.

### 3. WYBÓR DESKRYPTORÓW OBIEKTU

Rezultaty wcześniejszych prac autorów [1,2] wskazują, że obiekty różnych klas traktowane jako źródła dźwięku można rozróżnić na podstawie struktury częstotliwościowej ich sygnałów akustycznych. Przykładowe porównanie widma hałasu zarejestrowanego w bezpośrednim sąsiedztwie obiektu pierwszej grupy z analogicznym widmem innego typu pojazdu (rysunek 2) pozwala dostrzec wyraźne różnice.

Okazuje się jednak, że w przypadku ogólnym, gdy obiekty każdej z grup poruszają się w dowolnym kierunku z różnymi prędkościami, a sygnał akustyczny docierający do obserwatora jest zaburzony i cichszy, trudno jednoznacznie kwalifikować obiekty wyłącznie przez proste porównanie zmierzonych widm. Jednocześnie tego



Rysunek 2. Przykłady chwilowych widm hałasu dwóch różnych maszyn.

typu kwalifikacja zawsze ma subiektywny charakter i bazuje na wiedzy i doświadczeniu obserwatora – jest więc mało przydatna z punktu widzenia algorytmizacji i automatyzacji procesu wniosku.

W tej sytuacji celowe wydaje się podjęcie próby zastąpienia (lub uzupełnienia) widm miarami liczbowymi, traktowanymi jako wyróżniki charakterystyczne i spełniające aksjomaty metryki. Spośród rozważanych miar na szczególną uwagę zasługują wskaźniki zwane częstościami Rice'a zdefiniowane następująco:

$$F_x = \sqrt{\frac{\int_{-\infty}^{+\infty} G_{xx}(\omega) d\omega}{\int_{-\infty}^{+\infty} \frac{G_{xx}(\omega)}{\omega^2} d\omega}} \quad (1)$$

W powyższej zależności  $G_{xx}$  oznacza gęstość widmową mocy ciśnienia akustycznego, zaś  $\omega$  jest częstotliwością w radianach na sekundę. Przedstawiona powyżej zależność definiuje częstość Rice'a dla przemieszczeń. Analogicznie zdefiniowano częstość Rice'a dla prędkości i przyspieszeń: różnica polega na przemnożeniu wyrażeń podcałkowych przez pierwszą lub drugą potęgę częstości  $\omega$ .

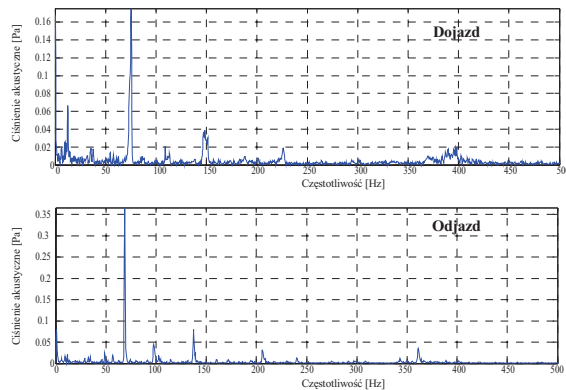
### 4. KLASYFIKACJA POJAZDÓW

W wielu praktycznych zastosowaniach diagnostyki nie jest konieczne dokładne ustalenie współrzędnych stanu, lecz wystarczy umiejętność przewidzenia zmian własności użytkowych obiektu. Niemniej powtarzalność parametrów (traktowanych jako możliwe do zmierzenia oddziaływanie na otoczenie) reprezentujących konkretny stan stanowi niezbędny warunek poprawnej diagnozy.

Podjęte zadanie można uznać za rozwiązywalne wyłącznie gdy wartości wyselekcjonowanych parametrów w sposób dostatecznie jednoznaczny umożliwią rozróżnienie walorów użytkowych obiektu. Wynika stąd postulat rozróżnialności rezultatów wewnątrz zbioru obiektów podobnych. Metodyka prowadzenia badań plenerowych, a przede wszystkim brak możliwości uzyskania źródłowej informacji o rzeczywistym stanie technicznym i faktycznym

obciążeniu ładunkiem, każe poszukiwać sposobu pozwalającego zakwalifikować poszczególne obiekty do kilku grup na bazie deskryptorów sygnału akustycznego.

Biorąc pod uwagę wnioski z wcześniej prezentowanych rozważań przyjęto, że każdy obiekt może zostać w sposób jednoznaczny scharakteryzowany wektorem złożonym z miar liczbowych obliczanych na podstawie widm amplitudowych zmian ciśnienia akustycznego zarejestrowanych podczas przejazdu obok punktu pomiarowego. Stwierdzono, że tylko sporadycznie pojazdy mijają mikrofon częściej niż co kilkanaście sekund. Wybrano zatem kilkusekundowe fragmenty rejestracji reprezentujące poszczególne przejazdy i obliczono widma z dwóch połówek takiej próbki czasowej. Pierwsze z widm dotyczyło zbliżania do punktu pomiarowego, drugie – oddalania. Dwa widma uzyskane dla przykładowego pojazdu ciężarowego przedstawiono na rysunku 3.



Rysunek 3. Widma hałasu podczas przejazdu przykładowego samochodu ciężarowego.

Dla każdego z widm obliczono trzy częstoty Rice'a (dla przemieszczeń, prędkości i przyspieszeń). Dodatkowo, po przeprowadzeniu analizy głównych wymuszeń odzwierciedlonych strukturą widmową sygnału akustycznego, zlokalizowano najwyższy prążek w przedziale 25÷75 Hz, zaś jego częstotliwość i amplitudę potraktowano jako uzupełniające wyróżniki charakterystyczne. Pozostałe wyróżniki zbudowano przez sumowanie amplitud prążków widmowych w pasmach  $\pm 2$  Hz wokół pierwszych czterech harmonicznych składowej o najwyższej amplitudzie. W ten sposób zbudowano 18 liczbowy wektor (po 9 wyróżników z dwóch widm), który uznano za reprezentanta konkretnego pojazdu.

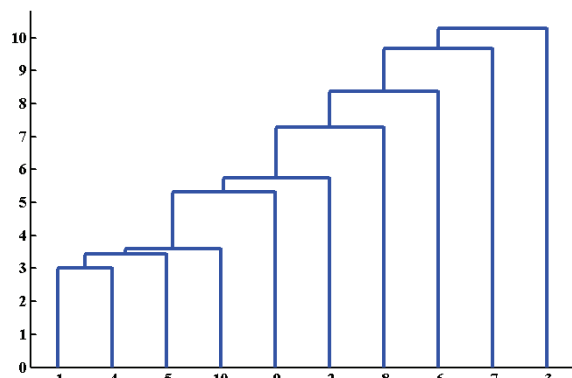
Do klasyfikacji takich wektorów (traktowanych jako punkty w 18-wymiarowej przestrzeni) posłużono się metodą analizy skupień. Bazując na metryce euklidesowej obliczono odległość między punktami:

$$\Delta_{ij} = \sqrt{\sum_{k=1}^6 (x_{ik} - x_{jk})^2} \quad (2)$$

Istniejące między miarami częstotliwościowymi i amplitudowymi różnice trzech rzędów wielkości sprawiają, że przy tak zdefiniowanej odległości wpływ miar amplitudowych na wynik jest pomijalny. W tej sytuacji zdecydowano się na zmodyfikowanie miar częstotliwościowych, dzieląc wartości bezwzględne odpowiednio przez pierwszą, drugą bądź trzecią potęgę dziesięciu.

Algorytm grupowania ma postać hierarchiczną. Punkty najbliższe sobie tworzą węzeł, zaś w każdym kolejnym kroku jeden z elementów dołączany jest do najbliższej grupy. Przeprowadzone operacje reprezentuje dendrogram, rozpoczynający się we wszystkich punktach reprezentujących rozważane przypadki, a zakończony połączeniem na najwyższym poziomie dwóch najbardziej odległych grup. Analiza kompletnego dendrogramu pozwala prześledzić szczegółowo związki między poszczególnymi elementami wektora obserwacji, niemniej duża liczba punktów początkowych czyni obraz nieczytelnym. Ze względów praktycznych efekty działania algorytmu wystarczy zwykle ograniczyć do najwyższych poziomów łączenia pod warunkiem uzupełnienia dendrogramu informacją o liczbie i rodzaju elementów zakwalifikowanych do poszczególnych grup.

Dendrogram na rysunku 4 ilustruje najwyższe poziomy łączenia przy grupowaniu blisko stu rezultatów eksperymentalnych na dziesięć skupień. Okazuje się, że prawie wszystkie skupienia są jednoelementowe, zaś w pierwszym zawiera się cała reszta wektora obserwacji. Tak więc bazując na wynikach łączenia w grupy można przyjąć, że kwalifikacja do pierwszego skupienia świadczy o typowości cech sygnału akustycznego dla ciężarówek poruszających się po polskich drogach.



Rysunek 4. Grupowanie na dziesięć skupień.

W rezultacie dalszej analizy rezultatów zbudowano wskaźnik łączący informację o energii dominującej składowej z jej częstotliwością. Przyjęto postać ilorazu powstałego z sumy amplitud w pasmach wokół czterech pierwszych harmonicznych dominującego prążka przez jego częstotliwość. Okazało się, że kwalifikacja wyłącznie na bazie takiego wskaźnika w ogromnym stopniu pokrywa się z wynikiem grupowania metodą analizy

skupień: wartości obliczone dla pojazdów wykluczonych z pierwszego skupienia są wyraźnie wyższe od pozostałych. Nasuwa się więc wniosek, że prawdopodobnie te pojazdy jechały przeciążone lub częściowo niesprawne technicznie.

## 5. PODSUMOWANIE

Przedstawione powyżej rozważania potwierdzają celowość podjęcia tematyki oceny przejeżdżających samochodów ciężarowych na bazie ich sygnału akustycznego. Obecnie możliwym wydaje się zaproponowanie deskryptorów pozwalających rozpoznać pojazdy przeciążone bądź nie w pełni sprawne.

Na przykładzie zademonstrowano, że wyniki nieskomplikowanych badań plenerowych można stosunkowo łatwo segregować z wykorzystaniem analizy skupień. Wrażliwość wybranych deskryptorów na różne stany obiektów wymaga jednak dalszej weryfikacji, w tym przez czynny eksperyment diagnostyczny. W szczególności powyższa refleksja dotyczy możliwości badania związków między sygnałem akustycznym a naciskiem pojazdu na podłoże.

W dalszej perspektywie możliwym wydaje się opracowanie algorytmów i urządzeń bazujących na sygnale akustycznym, a służących skutecznej eliminacji z ruchu pojazdów stanowiących nadmierne zagrożenie dla środowiska. Niemniej obecnie jeszcze nie można wykluczyć niepowodzenia tego typu rozwiązań, choćby ze względu na coraz większe natężenie ruchu skutkujące nakładaniem się dźwięków pochodzących z wielu źródeł.

## 6. LITERATURA

- [1] Deuszkiewicz P., Dąbrowski Z., Rozpoznawanie obiektów na podstawie miar hałasowych w niestacjonarnych warunkach pracy, II Międzynarodowy Kongres Diagnostyki Technicznej Diagnostyka 2000, Warszawa 2000.
- [2] Klekot G., Dąbrowski Z., Deuszkiewicz P., Napęd śmigłowca jako źródło informacji osobniczej i kierunkowej. VI Sympozjum „Silniki spalinowe w zastosowaniach wojskowych”, Jurata 2003; strony 261÷268.



Dr inż. Grzegorz KLEKOT, adiunkt w Instytucie Podstaw Budowy Maszyn na Wydziale Samochodów i Maszyn Roboczych Politechniki Warszawskiej, członek Polskiego Towarzystwa Diagnostyki Technicznej.



mgr inż. Piotr DEUSZKIEWICZ, pracownik naukowo-techniczny Instytutu Podstaw Budowy Maszyn Politechniki Warszawskiej, członek Polskiego Towarzystwa Diagnostyki Technicznej.