

Marcin HONKISZ

## WPŁYW WARUNKÓW POGODOWYCH NA DRGANIA GENEROWANE PRZEZ POJAZDY KOŁOWE

*Celem badań opisanych w niniejszym artykule jest przeprowadzenie eksperymentów mających na celu określenie wpływu wybranych warunków pogodowych na postać generowanych przez pojazdy kołowe drgań. Dotychczas zdobyta wiedza pozwala na przypuszczenie, że do tej pory nie prowadzono badań pozwalających na określenie takiego wpływu. Co więcej, czynniki atmosferyczne nigdy nie były brane pod uwagę jako czynnik mający wpływ na rozprzestrzenianie się oraz kształt drgań. Analiza otrzymanych wyników powinna pozwolić na sformułowanie zaleceń odnośnie konieczności uwzględniania zmian tych parametrów w praktycznych zastosowaniach.*

### WSTĘP

W wyniku ruchu pojazdów kołowych – zarówno drogowych, jak i szynowych – generowany jest szereg zakłóceń środowiskowych. Do jednych z bardziej uciążliwych zaliczyć można drgania podłoża i elementów przylegających bezpośrednio do tras przejazdu. Drgania powodowane przez konkretny pojazd w konkretnym środowisku są mocno osobnicze i zróżnicowane. Pomiar i analiza tych drgań może mieć kluczowe znaczenie z wielu powodów. Informacja o podstawowych parametrach, czyli przemieszczeniu, prędkości oraz przyspieszeniu, może mieć wielorakie zastosowanie, między innymi do oceny: stopnia obciążenia i stanu drogi, wpływu ruchu na sąsiednie budynki, samopoczucia i stanu zdrowia mieszkańców, stanu pojazdu, prędkości jazdy, liczby osi, nacisków na osie czy kategorii pojazdu.

Niestety badacze podejmujący te zagadnienia ograniczają się zwykle do analizy sygnału pod kątem konkretnego zastosowania (3). Często przy tym wskazują na znaczne różnice otrzymywanych pomiarów, tłumacząc je jedynie zmienną badanej cechy, na przykład prędkości ruchu pojazdu lub jego masy.

Zdecydowana większość opublikowanych prac związanych z zagadnieniem drgań generowanych przez pojazdy kołowe kładzie nacisk na zastosowania praktyczne. Poza nielicznymi przypadkami badacze zajmujący się zagadnieniem drgań generowanych przez pojazdy kołowe nie analizują wpływu zewnętrznych warunków na obserwowane zjawiska. Często wskazują, że otrzymywane wyniki są niepowtarzalne i zależą od bardzo wielu czynników. Zwykle jednak zakładają, że należą do nich czynniki związane z pojazdami: rodzaj pojazdu (szynowy, samochodowy), masa i prędkość pojazdu, liczba osi, stan techniczny itp. Niekiedy uwzględniają rodzaj drogi i jej podbudowy. Daje się wyraźnie odczuć brak prac podstawowych, badających wpływ naturalnych czynników zewnętrznych na przebiegi i parametry generowanych drgań. Jedynie sporadycznie autorzy wspominają o wpływie temperatury nawierzchni na uzyskiwane wyniki.

Celem badań opisanych w niniejszym artykule jest przeprowadzenie eksperymentów mających na celu określenie wpływu wybranych warunków pogodowych na postać generowanych przez pojazdy kołowe drgań. Dotychczas zdobyta wiedza pozwala na przypuszczenie, że do tej pory nie prowadzono badań pozwalających na określenie takiego wpływu. Co więcej, czynniki atmosferyczne nigdy

nie były brane pod uwagę jako czynnik mający wpływ na rozprzestrzenianie się oraz kształt drgań. Analiza otrzymanych wyników powinna pozwolić na sformułowanie zaleceń odnośnie konieczności uwzględniania zmian tych parametrów w praktycznych zastosowaniach.

### 1. STANOWISKO POMIAROWE

#### 1.1. Wybór lokalizacji i sposobu pomiarów

Do realizacji badań pozwalających na określenie wpływu warunków atmosferycznych na detekcję drgań powodowanych przejeżdżającymi pojazdami wykonano przenośne stanowisko pomiarowe. Zasadniczymi elementami funkcjonalnymi stanowiska były:

- wysokiej jakości przetwornik drgań,
- obwód pomiarowy,
- przetwornik DAQ,
- komputer przenośny,
- układ zasilania,
- elementy konstrukcyjne.

Posługując się wcześniejszymi doświadczeniami autora w zakresie podobnych pomiarów, a także publikacjami z innych ośrodków badawczych – (1), (2) oraz (4), zdecydowano się na konstrukcję stanowiska osadzoną sztywno w nawierzchni, po której przejeżdżały pojazdy. Gotowe stanowisko podczas pracy przedstawia rys. 1.



**Rys. 1.** Stanowisko pomiarowe z zaznaczonymi czerwoną farbą miejscami posadowienia czujnika

Jeżeli chodzi o posadowienie czujnika w nawierzchni, to początkowo brane pod uwagę były dwa rozwiązania:

- posadowienie na 10-centymetrowym gwincie wkręcanym we wcześniej odwiercony otwór bezpośrednio w nawierzchni asfaltowej (rys. 2),
- posadowienie na pręcie o długości 1 m wbitym całkowicie w warstwę podsypu w odległości kilku centymetrów od nawierzchni (rys. 3).

Wstępne testy detekcji pojazdów jasno pokazały, że rozwiązanie z długim prętem nie pozwala na otrzymywanie zadowalających rezultatów, w związku z czym do dalszych badań zdecydowano się na rozwiązanie polegające na osadzeniu czujnika bezpośrednio w warstwie asfaltu.



Rys. 2. Posadowienie czujnika na małej głębokości w asfalcie



Rys. 3. Posadowienie czujnika w poboczu na metrowym pręcie gwintowanym

W tym miejscu zaznaczyć należy, że badania prowadzone były na drodze gminnej o klasie L z dodatkowym zastrzeżeniem, że nie mogą po niej poruszać się pojazdy o DMC powyżej 3,5 t. To wszystko sprowadza się do tego, że rozpatrywana droga wykonana jest w bardzo niskiej jakości – podbudowa z kruszywa ma grubość kilkunastu centymetrów, natomiast warstwa asfaltowa jest tylko jedna o grubości ok. 10 cm – rys. 4. To sprawia, że wyniki mogą nie być miarodajne w stosunku do podobnych pomiarów przeprowadzanych np. w warunkach drogi ekspresowej.

Wybór właśnie tej drogi uwarunkowany był względami praktycznymi – badania opisane w niniejszym artykule są badaniami

wstępnymi do szerzej zakrojonych analiz związanych z drganiami, w związku z tym autorowi zależało na przeprowadzeniu badań powtarzalnych i w przewidywalnych warunkach, co w jednoznaczny sposób wskazywało na konkretną lokalizację.



Rys. 4. Struktura budowy badanej nawierzchni drogi

## 1.2. Zastosowany sprzęt

Sam element pomiarowy, czyli czujnik drgań, został starannie dobrany w oparciu o analizowane wcześniej badania związane z drganiami pochodzenia komunikacyjnego. Prace poświęcone temu zagadnieniu jednoznacznie wskazują, z jakimi zakresami drgań mamy do czynienia w tym przypadku. Dlatego też zdecydowano się na wybór czujnika drgań ifm VTV122. Podstawowe parametry tego sensora (5) zestawiono w tab. 1.

Tab. 1. Podstawowe parametry czujnika VTV122

Zakres pomiarowy [mm/s]	0...25 RMS
Zakres częstotliwości [Hz]	10...1000
Dokładność [% wartości końcowej]	< ± 3
Powtarzalność	< 0,5 %
Liniowość	0,25 %
Wyjście prądowe [mA]	4...20
Maks. obciążenie [Ω]	max. (Ub - 9,6 V) x 50; 720 przy Ub = 24 V
Napięcie zasilania [V]	9,6...32 DC
Typ czujnika	Mikroelektromechaniczny System (MEMS)
Liczba osi pomiaru	1

Najistotniejsza wartość, z punktu widzenia przeprowadzanych pomiarów, to zakres pomiarowy  $0 \div 25$  mm/s wartości skutecznej RMS dla częstotliwości z zakresu  $10 \div 1000$  Hz. Czujnik posiada liniowo skorelowane z zakresem wyjście analogowe prądowe o zakresie pracy  $4 \div 20$  mA. Korelacja w całym zakresie, według zapewnień producenta, przebiega liniowo, co oznacza, że każdorazowo prąd można przeliczyć na wartość drgań przy pomocy prostej zależności liniowej:

$$y = 1,5625x - 6,25 \quad (1)$$

Odczyt danych z czujnika realizowany był za pomocą przetwornika pomiarowego LabJack U12. Wybór tego urządzenia podyktowany był jego dostępnością oraz dużym doświadczeniem z jego użytkowania. Niestety ten konkretny DAQ pod kątem przyszłych badań zastąpiony będzie musiał być innym urządzeniem z kilku powodów:

- wejścia analogowe mają możliwość pomiaru tylko sygnałów napięciowych,
- zakres napięciowy pojedynczego wejścia pomiarowego to  $\pm 10$  V,
- częstotliwość zapisu odczytywanych wartości to 10 Hz.

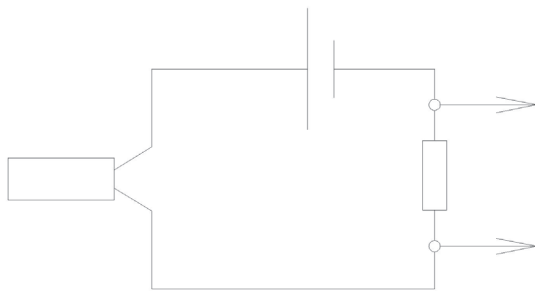
Opisywane w niniejszym artykule testy jasno wykazały, że przetwornik do dokładniejszych badań będzie musiał być zastąpiony urządzeniem przede wszystkim dużo szybszym.



Zastosowanie przetwornika analogowo-cyfrowego z wejściami pomiarowymi napięciowymi wymusiło na autorze skonstruowanie układu pomiarowego wykorzystującego rezystor pomiarowy – rys. 5. Sprzęgnięcie działania czujnika z wyjście prądowym z przetwornikiem wymagało realizacji pętli prądowej z wymuszonym przepływem prądu przez rezystor wysokiej klasy o znanej rezystancji. Biorąc pod uwagę obciążalność czujnika ujętą w tab. 1, zdecydowano się na zastosowanie rezystora z typoszeregu E96 o klasie dokładności  $\pm 1\%$  i wartości rezystancji  $464 \Omega$ .

Dzięki wymuszeniu przepływu prądu w takim układzie możliwy był dokładny pomiar napięcia przed i za rezystorem za pomocą dwóch wejść przetwornika skonfigurowanych jako para wejść różnicowych. Taki układ pozwolił na dokładny pomiar mimo zasilania czujnika napięciem  $24 V$ , czyli daleko wykraczającym poza zakres pracy działania przetwornika.

Reasumując, w opisanym konfiguracji sprzętowej zakres drgań  $0 \div 25 \text{ mm/s}$  przekłada się na zakres mierzonych napięć  $1,856 \div 9,280 V$ .



**Rys. 5.** Schemat prostej pętli prądowej wykorzystującej rezystor pomiarowy

## 2. REALIZACJA ZADANIA POMIAROWEGO

### 2.1. Próby pomiarowe

Czas operacyjny założonego zadania obejmował tylko okres letni i wczesnojesienny, zatem zdecydowano się na porównanie typowych warunków pogodowych dla tych pór roku: przy podobnej temperaturze otoczenia, wynoszącej kilkanaście stopni C wybrano dwa dni:

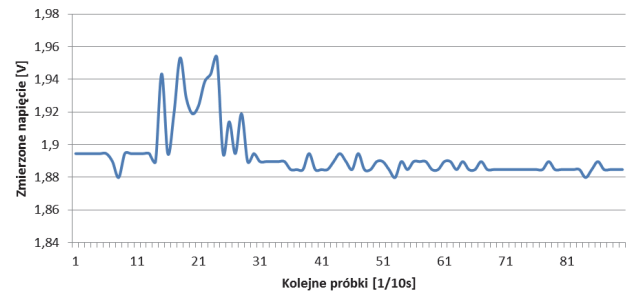
- jeden suchy i słoneczny, poprzedzony co najmniej trzema dniami podobnej pogody,
- jeden z obfitymi opadami, poprzedzony co najmniej trzema dniami podobnej pogody.

To pozwoliło na sprawdzenie najbardziej zróżnicowanych warunków dla danych pór roku. Badania pokazały, że zdecydowanie korzystnie będzie w kolejnych etapach prac porównanie wyników z warunkami zimowymi.

Opisana poniżej próba obejmuje po pięć przejazdów w każdych warunkach tym samym samochodem z porównywalną prędkością. Samochód osobowy o masie ok.  $1500 \text{ kg}$  i długości  $5 \text{ m}$  każdorazowo przejeżdżał z prędkością ok.  $30 \text{ km/h}$ .

Przeprowadzenie wszystkich pomiarów za pomocą jednego pojazdu i przy podobnej prędkości pozwoliło na jednoznaczne określenie tylko i wyłącznie wpływu jednego zróżnicowanego warunku, jakim były odmienne parametry pogodowe.

Każdy przejazd był bardzo wyraźnie widoczny na tle szumu odczytywanego przez system pomiarowy. Przykładowy pojedynczy przejazd zarejestrowany przez system przedstawiony jest na rys. 6.



**Rys. 6.** Przykładowy zarejestrowany przejazd

Widać, że detekcja przejazdu trwała ok.  $1,5 \text{ s}$ , co przy prędkości ok.  $25 \div 30 \text{ km/h}$  pozwala oszacować obszar rozchodzenia się drgań związanych z przejazdem na ok.  $10 \div 11 \text{ m}$  wokół czujnika, czyli ponad  $5 \text{ m}$  przed oraz za czujnikiem. Można podejrzewać, że w przypadku pojazdu dużo cięższego te strefy odpowiednio powinny się wydłużyć.

Z danych jak na rys. 6 można w bardzo prosty sposób wyekstrahować pojedyncze przejazdy. W tab. 2 zestawiono czasy wyrażonych wzrostów mierzonego napięcia związanych z kolejnymi przejazdami.

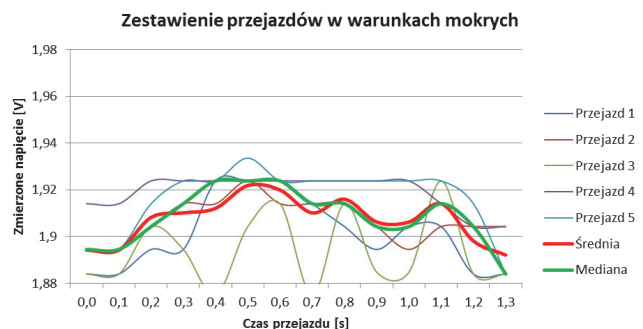
**Tab. 2.** Zarejestrowane czasy pojedynczych przejazdów

Sucho	Mokro
0,9 s	0,9 s
1,2 s	1,3 s
1,1 s	0,9 s
1,0 s	1,2 s
1,2 s	1,1 s

Jako porównawcze okna dla wszystkich pomiarów zastosowano obszary  $14$  sąsiednich próbek z wyśredkowaniem każdego przejazdu. To pozwoliło na dalszą jednolitą analizę wyników. Na rys. 7 oraz rys. 8 przedstawiono zbiorcze wyniki przejazdów dla warunków suchych oraz mokrych.



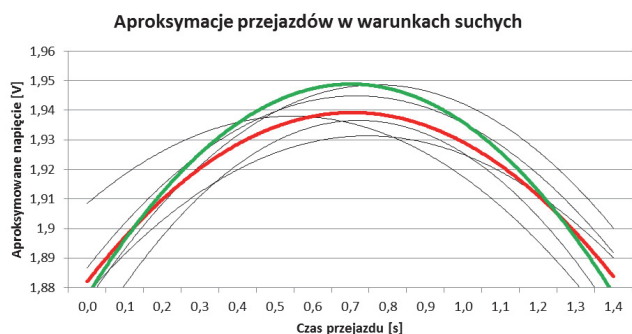
**Rys. 7.** Zestawienie przejazdów w warunkach suchych



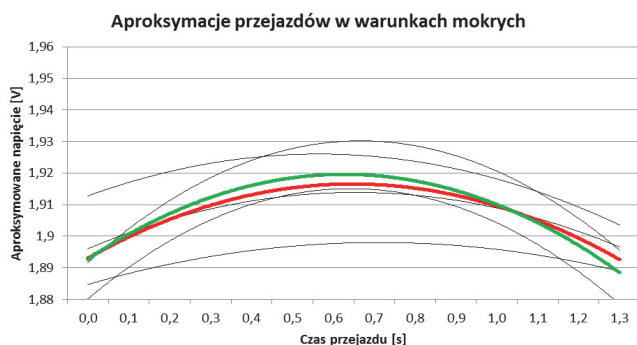
**Rys. 8.** Zestawienie przejazdów w warunkach mokrych

W celu łatwiejszej analizy otrzymanych wyników zdecydowano się na zastosowanie aproksymacji wielomianowej wielomianami drugiego stopnia. Analiza innych prac z dziedziny drgań wywołanych środkami transportu pozwoliła na zastosowanie takiego uproszczenia. Metoda ta pomija różnicowanie drgań spowodowanych przejazdem pojazdu dwuosowego pochodzących od każdej osi z osobna. Interpretacja taka sprowadza przejeżdżający pojazd do jednolitego obiektu wywołującego jednostajnie zbliżającą się i następnie oddalającą grupę drgań. Takie ujęcie z punktu widzenia rozważań niniejszego artykułu wydaje się wystarczające.

Wykresy przedstawiające aproksymacje wielomianowe wykrytych przejazdów pokazane zostały na rys. 9. oraz rys. 10.



Rys. 9. Aproksymacje przejazdów w warunkach suchych



Rys. 10. Aproksymacje przejazdów w warunkach mokrych

## 2.2. Interpretacja otrzymanych wyników

Z powyższych zestawień wynika, że przejazdy mierzone w warunkach mokrej nawierzchni odbiegają znacznie od tych mierzonych w dniu bez opadu. Analizując średnie wszystkich przejazdów, otrzymujemy różnicę w wartościach maksymalnych:

Tab. 3. Aproksymowane wartości maksymalne

Warunki suche	Warunki mokre
1,942 V	1,914 V

Wartości obliczone dla średnich aproksymacji danych równaniami:

$$y_{sucho} = -0,0011x^2 + 0,0185x + 1,8647$$

$$y_{mokro} = -0,0006x^2 + 0,0084x + 1,8852$$
(2)

Biorąc pod uwagę wartość rezystora pomiarowego, można określić wartości prądów pomiarowych oraz ostatecznie maksima wartości skutecznych drgań wywołanych przez pojazd:

Tab. 4. Aproksymowane wartości prądów pomiarowych

Warunki suche	Warunki mokre
$I = \frac{1,942}{464} A = 4,19 mA$	$I = \frac{1,914}{464} A = 4,12 mA$

Biorąc pod uwagę przelicznik liniowy dla czujnika, wartości skuteczne drgań dla uśrednionych wyników pomiarów wyniosą odpowiednio:

Tab. 5. Ostateczne wyniki wykrytych drgań

Warunki suche	Warunki mokre
0,297 mm/s	0,188 mm/s

Widać wyraźnie mocne osłabienie skuteczności detekcji w warunkach opadu:

$$\frac{0,297 - 0,188}{0,297} \cdot 100\% = 36,7\% \quad (3)$$

Skuteczność detekcji drgań wywołanych uśrednionymi przejazdami spadła o ponad jedną trzecią w stosunku do dnia bez opadu.

O ile analiza wartości średniej zawsze będzie pokazywać jakąś różnicę, o tyle analiza wszystkich wyników pojedynczo jasno wskazuje na rozbieżności w odczytach uzależnione warunkami pogodowymi. Dla warunków suchych maksima wszystkich przejazdów zawierają się w przedziale 1,93 ÷ 1,95 V, natomiast dla przejazdów w czasie opadu, nawet pomijając jeden mocno zaniżony przejazd, wszystkie maksima zawierają się w przedziale obniżonym o 0,2 V, czyli 1,91 ÷ 1,93 V. To pozwala na wysnucie wniosku, że warunki pogodowe mają wpływ na jakość detekcji drgań związanych z transportem drogowym.

## PODSUMOWANIE

Drgania gruntu to jeden z ubocznych efektów przemieszczania się pojazdów kołowych. Należą one, obok zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego i hałasu, do jednych z najważniejszych czynników powodujących negatywne obciążenie środowiska naturalnego przez transport. Ich pomiary pozwalają ocenić stan infrastruktury, stopień zagrożenia dla pobliskich budowli, w tym także dla samopoczucia i zdrowia mieszkańców. Jest to szczególnie istotne w przypadku drgań wywołanych przez pojazdy szynowe, takie jak pociągi, tramwaje oraz metro, w tym także poruszających się w tunelach. Źródłem tych drgań są bowiem pojazdy poruszające się w ścisłych centrach miast, a amplitudy generowanych drgań są znaczne. Znajomość charakteru drgań pochodzenia komunikacyjnego pozwala przedsięwziąć odpowiednie środki ograniczające ich szkodliwy wpływ, np. poprzez zastosowanie przegród wibroizolacyjnych, specjalnych mat lub tzw. szyn pływających. Ciągły monitoring tych drgań pozwala z kolei wyeliminować z eksploatacji pojazdy nadmierne wyeksploatowane, w szczególności wymagających reprofiliacji kół. Analiza drgań wywołanych ruchem pojazdów samochodowych ma jeszcze szersze pole zastosowań, bowiem obok problemów związanych z obciążeniem i stanem drogi oraz najbliższych obiektów budowlanych jest ona użyteczna w różnych zastosowaniach szeroko rozumianych systemów ITS (Intelligentne Systemy Transportowe).

W niniejszym artykule zawarte zostały rozważania na temat wpływu czynników atmosferycznych na tego typu badania. Przeprowadzone badania ewidentnie pokazały korelację otrzymywanych

wyników z warunkami pogodowymi, w szczególności z występującym opadem i wywołaną z tego powodu wilgotnością podłoża.

Przedstawione wnioski posłużą za bazę dla kolejnych etapów badań nad drganiami generowanymi przez środki transportu. Główną konkluzją artykułu jest fakt, że przez innych autorów pomijane warunki powinny być jednak brane pod uwagę w czasie przeprowadzania badań terenowych.

## BIBLIOGRAFIA

1. Bajwa R., *Wireless Weigh-In-Motion: using road vibrations to estimate truck weights*, Electrical Engineering and Computer Sciences University of California at Berkeley 2013
2. Bartmański C., *Klasyfikacja pojazdów samochodowych w ruchu na podstawie generowanych przez nie sygnałów drganiowych*, „Prace naukowe GIG. Górnictwo i Środowisko” 2009, nr 3
3. Grieco B., Vigna B. i in., *A Low-g 3 Axis Accelerometer for Emerging Automotive Applications*, [w:] Advanced Microsystems for Automotive Applications. VDI-Buch, Berlin 2004.
4. Hostettler R., *Vehicle Parameter Estimation using Road Surface Vibrations*, Department of Computer Science, Electrical and Space Engineering Lulea University of Technology, Lulea, Sweden 2012
5. *Instrukcja obsługi – Przetwornik drgań efector800 VTV122, ifm electronic [oficjalna instrukcja]*.
6. Targosz J., Wiederek J., *Drgania w transporcie drogowym i ich oddziaływanie*, *Autobusy – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe* 2017, nr 3.
7. Ataman M., Szcześniak W., *Drgania pasma płytowego z umiarkowanie dużymi ugięciami na podłożu sprężystym* *Autobusy – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe* 2013, nr 3.

### Influence of weather conditions on the vibrations generated by wheel vehicles

*The purpose of the research described in this article is to carry out experiments for determine the impact of selected weather conditions on the form of vibration caused by different vehicles. Previous research suggests that so far no research has tested such influence. Moreover, atmospheric factors have never been considered as a factor influencing the spread and shape of the vibrations. Analysis of the results obtained should allow for recommendations on the need to include changes in these parameters in practical applications.*

Autorzy:

mgr inż **Marcin Honkisz** – Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej – Wydział Zarządzania i Transportu, Katedra Transportu, [mhonkisz@ath.bielsko.pl](mailto:mhonkisz@ath.bielsko.pl)