

inż. MAGDALENA MATYS  
 inż. KAMIL PIOTROWSKI  
 dr inż. DOMINIK MLECZKO  
 dr inż. PAWEŁ PAWLIK  
 AGH Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Katedra Mechaniki i Wibroakustyki  
 Kontakt: [mw.matys@gmail.com](mailto:mw.matys@gmail.com)  
 DOI: 10.5604/01.3001.0013.1055

# Narażenie podróżujących na drgania i hałas w zależności od rodzaju środka transportu – wyniki badań pilotażowych

Fot. Antivan / Bigstockphoto



Od pewnego czasu mieszkańcy dużych miast są zachęceni do zmiany sposobu przemieszczania się, czyli przesiadki z samochodów osobowych do pojazdów komunikacji miejskiej. Ma to pomóc zmniejszyć problemy związane z korkami oraz zanieczyszczeniem powietrza.

Autorzy artykułu postanowili sprawdzić, czy taka przesiadka jest również korzystna z punktu widzenia komfortu i zdrowia osoby podróżującej. W tym celu zbadano wartości przyspieszeń drgań i poziomów dźwięku, na które w zależności od wyboru środka transportu narażone zostają osoby podróżujące po Krakowie. Pomiar przeprowadzono dla trzech rodzajów środków transportu – samochodów osobowych, autobusów oraz tramwajów. Do badań wytypowano po dwa, znacząco różniące się od siebie (stary i nowy) modele pojazdów każdego typu. Pomiar wykonano podczas dwóch przejazdów każdego z nich po ustalonej wcześniej trasie.

W artykule przedstawiono porównanie wartości zmierzonych parametrów wibroakustycznych w dziedzinie czasu, podjęta została również próba oceny drgań i hałasu z uwzględnieniem ich wpływu na zdrowie i komfort podróżującego.

*Słowa kluczowe: narażenie na drgania, narażenie na hałas, drgania i hałas w środkach transportu*

## Travelers' exposure to vibrations and noise depending on the type of transport – the results of pilot research

For some time residents of big cities have been encouraged to change their means of transport, that is, to swap passenger cars for public transport vehicles. This is meant to help to reduce the problems associated with heavy traffic and air pollution. The authors of the article decided to check if such a change is also beneficial from the point of view of comfort and health of a person who uses public transport. For this purpose values of vibration acceleration and sound pressure level to which Cracow's commuters are exposed to have been analyzed, depending on the type of vehicle they choose. In this respect measurements have been carried out for passenger cars, buses and trams. Two vehicle models of each type, significantly different from each other (old and new) have been selected for the tests. The measurements during a few trips in each type of vehicle on a predetermined route have been conducted. This article presents a comparison of measured values of vibroacoustic parameters in the time domain. It attempts to assess vibration and noise parameters, taking into account their impact on the health and comfort of the traveler.

*Keywords: vibration hazard, noise hazard, vibration and noise for commuters*

## Wstęp

W Krakowie zarejestrowanych jest ponad 480 tys. samochodów, co daje 633 pojazdów na 1000 mieszkańców i jest jednym z najwyższych wyników w kraju [1]. Oczywiście spora ich część nie jest użytkowana codziennie, ale należy pamiętać również o pojazdach zarejestrowanych poza Krakowem, a codziennie wjeżdżających do miasta. Niemal pół miliona aut poruszających się codziennie po Krakowie przyczynia się do zanieczyszczenia powietrza substancjami potocznie nazywanymi smogiem [1,2]. Lokalne władze nawołują więc do zamiany samochodów na środki komunikacji miejskiej w celu zredukowania poziomu zanieczyszczeń oraz zmniejszenia korków na krakowskich ulicach.

Często przemieszczanie się po Krakowie ma na celu podróż o charakterze służbowym. W związku z tym zasadne jest ocenianie jej z punktu widzenia ochrony zdrowia i bezpieczeństwa pracownika. W Polsce regulacje dotyczące bhp odnoszą się do bhp i ergonomii, a także sposobu wykonywania pracy, jednak jej nieodłącznym elementem jest podróż do i z miejsca pracy. W tym aspekcie również powinniśmy pamiętać o świadomym wyborze środka transportu, aby do minimum ograniczyć zagrożenia, na które możemy być narażeni.

Autorzy postanowili przyjrzeć się temu problemowi pod kątem narażenia na drgania i hałas. Wykonane zostały badania pilotażowe, których celem było określenie, który środek transportu generuje większe drgania i hałas. Podobne badania dotyczące tramwajów zostały przedstawione w pracy opublikowanej w 2011 r. [3]. Natomiast ocena narażenia na hałas i drgania na kierowców drogowych znaleźć można w artykule z 2007 r. [4].

W ekstremalnych przypadkach drgania mogą prowadzić do zwyrodnień stawów i nieodwracalnych zmian w układach: krwionośnym, naczyniowym i nerwowym, co może prowadzić do choroby zawodowej zwanej zespołem wibracyjnym [5-7]. Autorzy potraktowali czas spędzany w podróży o charakterze służbowym jako jedno z zajęć służ-

Tabela 1. Wartości dopuszczalne przyspieszeń drgań ogólnych [8-10]  
Table 1. Permissible values of whole-body vibration acceleration [8-10]

Osoba narażona	Czas ekspozycji	Wartość skuteczna ważona przyspieszenia drgań [m/s <sup>2</sup> ]
Osoba dorosła [8]	dzienna ekspozycja (dla 8h)	0,8
	krótkotrwała ekspozycja <30 min	3,2
Osoba młodociana [9]	dzienna ekspozycja (dla 8h)	0,19
	krótkotrwała ekspozycja <30 min	0,76
Kobieta w ciąży [10]	dzienna ekspozycja (dla 8h)	praca wzbro-niona
	krótkotrwała ekspozycja <30 min	

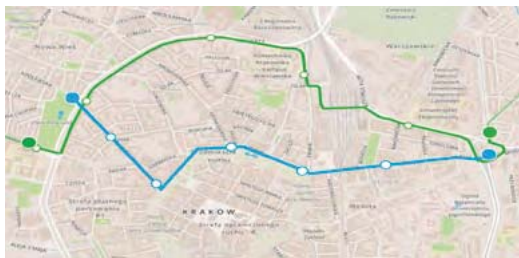
Tabela 2. Poziomy dyskomfort osoby narażonej na drgania zgodne z normą ISO 2631-1 [12]

Table 2. Levels of discomfort for a person exposed to vibration according to the ISO 2631-1 standard [12]

Wartość skuteczna sum wektorowych przyspieszenia drgań [m/s <sup>2</sup> ]	Poziom dyskomfortu
< 0,315	brak dyskomfortu
0,315 – 0,63	mały dyskomfort
0,5 – 1	dość niekomfortowo
0,8 – 1,6	niekomfortowo
1,25 – 2,5	bardzo niekomfortowo
> 2,5	ekstremalnie niekomfortowo

Tabela 3. Dopuszczalne poziomy hałasu na stanowiskach pracy [8-10]  
Table 3. Permissible noise levels at workstations [8-10]

Osoba narażona	L <sub>Amax</sub> [dB]	L <sub>Cpeak</sub> [dB]	L <sub>ex, 8h</sub> [dB]
Osoba dorosła [8]	115	135	85
Osoba młodociana [9]	110	130	80
Kobieta w ciąży [10]	110	130	65



Rys. 1. Trasy, na których przeprowadzone zostały badania. Kolor zielony przedstawia trasę autobusów i samochodów osobowych, a niebieski – tramwajów. Źródło: www.jakdojade.pl/krakow (luty 2018)

Fig. 1. Routes on which measurements were carried out. Green indicates the route of buses and passenger cars while blue indicates the tram route. Source: www.jakdojade.pl/krakow (February 2018)

bowych części pracujących mieszkańców Krakowa<sup>1</sup>, a co za tym idzie, porównano otrzymane wyniki badań z wartościami dopuszczalnymi dla miejsca pracy. W tym celu wykonano zaprezentowane w dalszej części tekstu pomiary oraz obliczenia parametrów wibroakustycznych.

### Drgania i hałas jako zagrożenie dla zdrowia – wartości dopuszczalne

Drgania i hałas mogą mieć negatywny wpływ na zdrowie człowieka, szczególnie gdy ich działanie jest długotrwałe i powtarzalne, a wartości ekspozycji przekraczają wartości dopuszczalne określone w rozporządzeniach. Narażenie na te czynniki może prowadzić również do zmniejszenia wydajności pracy ze względu na: zmęczenie, zakłócenia czasu reakcji i koordynacji, niepokój, rozdrażnienie.

Nadmierna ekspozycja na drgania może prowadzić do choroby lokomocyjnej, a w ekstremalnych przypadkach do zespołu wibracyjnego [5]. Z kolei nadmierna ekspozycja na hałas prowadzić może do trwałego przesunięcia progu słyszalności.

Mając na celu zapobieganie i kontrolę ekspozycji na drgania i hałas, określono wartości, których przekroczenie może być niebezpieczne dla zdrowia człowieka oraz określające odczucie komfortu osoby podróżującej. Przedstawiono je w tab. 1.-3. Ze względu na brak regulacji prawnych nt. wartości dopuszczalnych drgań, dotyczących pasażerów komunikacji miejskiej, posłużono się tymi, które dotyczą zagrożeń w środowisku pracy.

### Metoda pomiarowa

Pomiary wykonano w Krakowie w kwietniu 2017 r. na dwóch trasach (rys. 1.), dobranych tak, aby uśrednienie wyniku pomiaru miało charakter reprezentatywny w odniesieniu do badanego pojazdu (autorzy wymagali ok. 15 minut podróży). Decyzja o wyborze dwóch tras została podjęta z powodu braku możliwości znalezienia jednej, którą podróżowałyby zarówno autobusy, jak i tramwaje.

Wybrane odcinki, pomimo znacznie różniących się warunków pomiarowych dla tramwajów i pojazdów kołowych, reprezentują typowe warunki podróży dla każdego z tych środków transportu. Stan torowisk i dróg tych tras był porównywalny. Priorytetem było odwzorowanie przykładowej podróży, którą wykonuje mieszkaniec Krakowa, który porusza się komunikacją miejską lub samochodem w celach służbowych. Zaznaczyć trzeba, że pomiary wewnątrz samochodów osobowych odbywały się na tej samej trasie, na której jeździły autobusy.

<sup>1</sup> Zgodnie z wykładnią prawa (art. 128 k.p.), że czas spędzony na dojeździe do pracy osoby, która pozostaje do dyspozycji pracodawcy, wliczany jest do czasu pracy.

Badania wykonywano w godzinach 9:00-13:00 w celu uniknięcia godzin szczytowych ze względu na dużą ilość aparatury pomiarowej. Wypełnienie badanych środków transportu wynosiło ok. 20-30% (zapelnienie większości miejsc siedzących). Prędkość autobusów wynosiła 13-21 km/h, samochodów osobowych: 12-20 km/h, a tramwajów: 11-16 km/h. Temperatura powietrza mieściła się w zakresie 5-7 °C, a ciśnienie atmosferyczne w zakresie 1018-1031 hPa. Nie zanotowano opadów.

Pomiary przeprowadzono w sumie w 7 różnych pojazdach: 2 samochodach osobowych, 2 tramwajach i 3 autobusach (fot. 1.-3.).auta dobrano tak, aby wziąć pod uwagę zarówno relatywnie starsze (lata 90. ub. wieku), jak i nowsze generacje pojazdów (samochód mający 10 lat). Jeden z nich miał silnik diesla, a drugi benzynowy. Jeden z autobusów napędzał silnik diesla, a pozostałe posiadały jednostki hybrydowe. Istotne informacje na temat każdego modelu przedstawiono w tab. 4.

Materiał badawczy to osobno zarejestrowane przebiegi czasowe przyspieszeń drgań ogólnych oraz skorygowane wartości poziomów ciśnienia akustycznego wymienionych pojazdów. Wykonano pomiary 2-3 przejazdów całej trasy przez każdy z modeli.

W autobusach pomiary wykonywano pomiędzy środkiem pojazdu a silnikiem (montowanym z tyłu). Osłabiało to wpływ ewentualnego przegubu autobusu na wyniki przyspieszenia drgań oraz pracy silnika na wyniki poziomu ciśnienia akustycznego. Uznano również to miejsce za najczęściej wybierane przez pasażerów, gdyż właśnie tam znajduje się najwięcej miejsc siedzących. Pomiary w tramwajach wykonane były w środkowej części wagonu, natomiast w samochodach osobowych na miejscu kierowcy (pomiar drgań – fotel kierowcy, pomiar hałasu – przy uchu kierowcy). Podczas wykonywania pomiarów w autach nie było dodatkowych źródeł hałasu, takich jak rozmowy pasażerów, czy włączone radio. Należy pamiętać, że kierowca narażony jest również na drgania miejscowe (oddziałujące na kończyny górne) przenoszone przez kierownicę. Ich wpływ nie był badany.

Do pomiarów przyspieszenia drgań wykorzystano trójosiowy czujnik piezoelektryczny, zamontowany w dysku umieszczonym na fotelu pasażera, podłączony za pośrednictwem karty pomiarowej do komputera. Dysk z czujnikiem montowany był do siedzenia przy użyciu pasów mocujących. Do pomiarów hałasu wykorzystano miernik poziomu dźwięku klasy 1.

Wyznaczono skorygowane, skuteczne wartości przyspieszenia drgań w kierunku X – zgodnym z kierunkiem jazdy, Y – poprzecznym do kierunku jazdy oraz Z – pionowym, zgodnie z metodologią zawartą w normie PN-EN 14253+A1:2011 [11]. W obliczeniach zostały uwzględnione współczynniki kierunkowe



Fot. 1. Wykorzystane w badaniach autobusy, od lewej: Jelcz M121MB, Solaris Urbino 18 Hybrid, Mercedes-Benz O 530 G. Źródło: www.mpk.krakow.pl (marzec 2018)  
Fot. 1. Buses included in the analysis, from the left: Jelcz M121MB, Solaris Urbino 18 Hybrid, Mercedes-Benz O 530 G. Source: www.mpk.krakow.pl (March 2018)



Tabela 4. Zestawienie poszczególnych parametrów badanych pojazdów wg danych producentów. Indeksami „S” i „N” oznaczone modele odpowiednio starszej i nowszej generacji; indeksami „A”, „T” i „O” odpowiednio autobusy, tramwaje i samochody osobowe

Table 4. Individual parameters of the tested vehicles (source: data of manufacturers). The „S” and „N” indexes denote the „old” and „new” models. The „A”, „T” and „O” indexes mean, respectively, buses, trams and passenger cars

	Masa własna [kg]	Silnik	Usytuowanie silnika
Jelcz M121MB <sup>SA</sup>	10240	Diesel 11967 cm <sup>3</sup> 184 kW (250 KM)/2200 obr./min, 1100 Nm/1100 obr./min	Tyłne wzdłużne, silnik leżący
Solaris Urbino 18 Hybrid <sup>NA</sup>	17500	Diesel hybrydowy 10837 cm <sup>3</sup> 240 kW (326 KM)/1700 obr./min 1400 Nm (850 -1600) obr./min	Tyłne wzdłużne z lewej strony, silnik stojący
Mercedes-Benz O 530 G <sup>NA</sup>	16625	Diesel hybrydowy 11967 cm <sup>3</sup> 260 kW (354 KM)/2000 obr./min 1600 Nm/1100 obr./min	Tyłne wzdłużne z lewej strony, silnik pionowy
Bombardier E1 <sup>ST</sup>	24000 (pojedynczy wagon)	2 x 150 kW	---
PESA Twist 2014N (Krakowiak) <sup>NT</sup>	64036 (pojedynczy wagon)	6 x 105 kW	---
Mercedes W124 250D <sup>SO</sup>	1390 kg	Diesel 2497 cm <sup>3</sup> 94 KM (69 kW)/4600 obr./min 158 Nm / 2600 obr./min	Z przodu, poprzecznie
Opel Astra H <sup>NO</sup>	1210 kg	Benzyna 1796 cm <sup>3</sup> 125 KM (92 kW)/5600 obr./min 170 Nm/3800 obr./min	Z przodu, poprzecznie

Indeksami „S” i „N” oznaczone modele odpowiednio starszej i nowszej generacji; indeksami „A”, „T” i „O” odpowiednio autobusy, tramwaje i samochody osobowe

( $1,4a_{wz}$ ,  $1,4a_{wy}$ ,  $a_{wz}$ ). Zastosowano filtry  $Wk$  (drżania ogólne w osi Z) i  $Wd$  (drżania ogólne w osiach X i Y). Wyznaczono również poziom dyskomfortu, przyjmując za podstawę wartości skuteczne sum wektorowych przyspieszenia drgań, zgodnie z normą ISO 2631-1 [5]. Wykorzystana została metoda pomiarowa oparta na pomiarach stanowiskowych, opisana w PN-EN ISO 9612:2011 [13].

Do oceny hałasu wykorzystano następujące parametry:  $L_{Amax}$  (maksymalny poziom dźwięku A),  $L_{Cpeak}$  (szczytowy poziom dźwięku C) oraz  $L_{Ex, 8h}$  (poziom ekspozycji odniesiony do 8-godzinnej dobowej lub przeciętnego tygodniowego, określonego w Kodeksie pracy, wymiaru czasu pracy) [8]. Pomiaru wykonywano w miejscach możliwie odległych od drzwi wejściowych, żeby często powtarzający się proces wsiadania i wysiadania pasażerów z pojazdu w jak najmniejszym stopniu zaburzał ich wyniki. Starano się również zachować jak największą odległość od twardych, odbijających dźwięk powierzchni, głównie wnętrza kabiny pojazdu. We wszystkich pomiarach uczestniczyła ta sama, siedząca osoba o masie ciała 55 kg.

## Wyniki pomiarów

Porównania wyników pomiarów zaprezentowano osobno w odniesieniu do drgań i hałasu. Zmierzone wartości dotyczą pełnych, zarejestrowanych przejazdów, trwających nieco ponad 15 minut. Dane w kolumnach w tab. 5. i 7. prezentują wartości uśrednione ze wszystkich pomiarów



Fot. 2. Wykorzystane w badaniach tramwaje. Od lewej: Bombardier E1, PESA Twist 2014N (Krakowiak). Źródło: materiały własne  
Fot. 2. Trams included in the analysis, from the left: Bombardier E1, PESA Twist 2014N (Krakowiak). Source: original work

danego modelu pojazdu. Trasa pokonywana przez auta i autobusy różni się od trasy tramwajów, ale założeniem badania było sprawdzenie wyników pomiarów podczas podróży wybranymi pojazdami z punktu A do punktu B, stąd – takie porównanie jest, zdaniem autorów, dozwolone. Porównane zostały również między sobą wyniki pomiarów różnych przejazdów tym samym pojazdem, ale nie wykazały one istotnych różnic.

Podczas pomiaru drgań brano pod uwagę wartości skuteczne przyspieszeń drgań ogólnych (przenoszonych głównie przez miednicę, kręgosłup, kończyny dolne), mierzone w paśmie 0,5-80 Hz. Ekspozycja krótkotrwała (suma czasów dwóch przejazdów w ciągu dnia) nie przekraczała 30 min. Na jej podstawie dokonano oceny dyskomfortu jazdy (tab. 5. i 6.).

W przypadku większości pojazdów nie zostały przekroczone wartości dopuszczalne dla krótkotrwałej ekspozycji na drżania. Należy jednak zwrócić uwagę przede wszystkim na dwa przypadki: Jelcz M121MB oraz Solaris Urbino 18 Hybrid (miejsce przy przegubie). Dotyczące ich wartości skorygowanych przyspieszeń drgań przekraczają wartości dopuszczalne dla osób młodocianych (tab. 5.) w odniesieniu do środowiska pracy. Należy także zaznaczyć, że kobiety ciężarne powinny zupełnie unikać drgań ogólnych [10]. Oba te przypadki, w ocenie dyskomfortu, mieszczą się w przedziałach „bardzo komfortowo” i „niekomfortowo”. W badanych tramwajach nie zarejestrowano dyskomfortu, natomiast w autach odnotowano „mały dyskomfort” (tab. 6.).

W celu zobrazowania porównania wartości przyspieszenia drgań w każdym ze środków lokomocji, wybrano dwuminutowe fragmenty przejazdów 3 pojazdów: autobusu Jelcz M121 MB, tramwaju Bombardier E1 oraz samochodu Mercedes W124 250D. Odpowiadają one przejazdowi od postoju do postoju. W odniesieniu do pojazdów komunikacji miejskiej oznacza to kurs między przystankami, a w przypadku samochodu osobowego np. przejazd między postojami w oczekiwaniu na zmianę koloru sygnalizatora świetlnego.

Przedstawiona na rys. 2. i 3. sytuacja jest najbardziej niekorzystną pod względem narażenia na drżania, zmierzoną w odniesieniu do każdego rodzaju pojazdu, która ukazuje możliwą różnicę wartości przyspieszeń drgań. Autobusy generują znacznie większe drżania ogólne, które, zgodnie z tab. 5., mogą przekraczać wartości dopuszczalne, czego nie zauważono w pozostałych pojazdach.

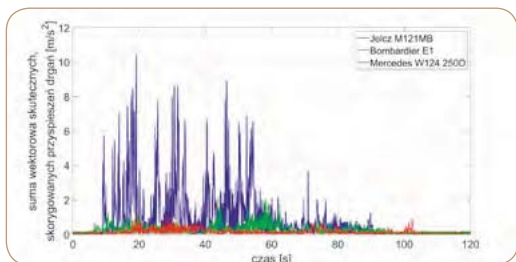
W osiach X i Y wartości przyspieszeń drgań dotyczące tramwajów i samochodów osobowych osiągają podobne wartości. Na osi Z można zauważyć znacząco większe wartości skuteczne w porównaniu z kierunkami X i Y. Jest to prawdopodobnie spowodowane nierównością nawierzchni. W przypadku autobusu Jelcz M121MB wartości we wszystkich osiach są porównywalne, ponieważ drżania pochodzące od nierówności nawierzchni nie wpływają znacznie na wysoką już wartość drgań pochodzącą od innych źródeł (np. od pracy silnika).

Z kolei w przypadku hałasu (tab. 7.), najwyższe wartości parametru  $L_{Amax}$  odnotowano w autobusie Jelcz M121MB oraz tramwaju PESA Twist 2014N (Krakowiak). Podobne spostrzeżenie odnosi się również do wyników badań w odniesieniu do pomiaru parametru  $L_{Cpeak}$  – w tych samych pojazdach osiąga on najwyższe wartości, istotnie większe od zmierzonych wewnątrz pozostałych obiektów badań. Natomiast porównując zmierzone poziomy równoważne  $L_{Ex, 8h}$  nawet najwyższa wartość zarejestrowana w autobusie Jelcz była niższa o 22 dB od wartości dopuszczalnej dla osoby dorosłej, o 17 dB dla kobiety w ciąży oraz o 2 dB dla osoby młodocianej. Wewnątrz pozostałych pojazdów komunikacji miejskiej otrzymano zbliżone rezultaty pomiaru  $L_{Aeq}$ . Zaznaczyć trzeba, że wartość  $L_{Amax}$  była niższa od 75 dB w Oplu Astrze H, a wartość  $L_{Aeq}$  sytuowała się poniżej 60 dB w odniesieniu do obu badanych samochodów. W żadnym przypadku nie doszło do przekroczenia wartości dopuszczalnych.



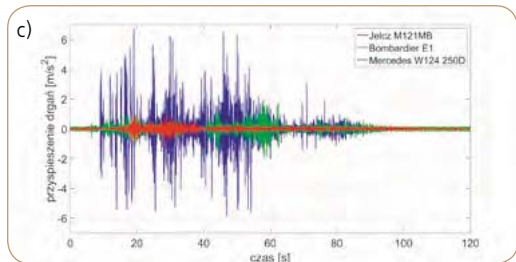
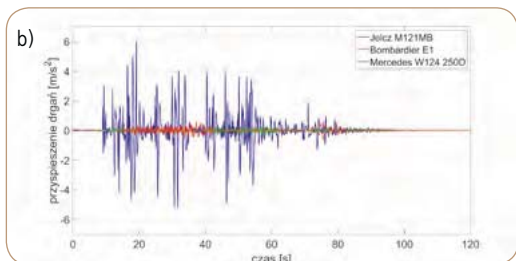
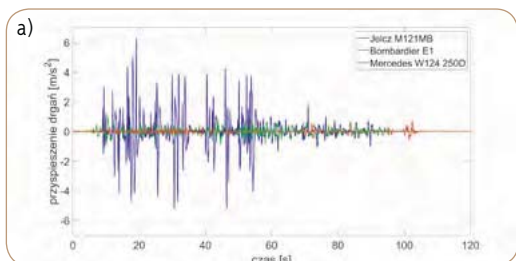
Fot. 3. Wykorzystane w badaniach samochody osobowe. Od lewej: Mercedes W124 250D, Opel Astra H. Źródło: materiały własne

Fot. 3. Passenger cars included in the analysis, from the left: Mercedes W124 250D, Opel Astra H. Source: original work



Rys. 2. Porównanie wartości sum wektorowych skutecznych, skorygowanych wartości przyspieszeń drgań dla reprezentantów każdego rodzaju pojazdu

Fig. 2. Comparison of vector sums of RMS values of corrected vibration acceleration values for representatives of each type of vehicle



Rys. 3. Porównanie wartości przyspieszeń drgań dla reprezentantów każdego rodzaju pojazdu, kolejno a) dla osi X, b) Y, c) Z

Fig. 3. Comparison of vibration acceleration values for representatives of each type of vehicle, respectively, a) for axis X, b) , c) Z

Wewnątrz tramwaju zmierzono najwyższe wartości poziomu dźwięku ( $L_{Cpeak}$ ), natomiast w autobusie to równoważny poziom dźwięku A ( $L_{Aeq}$ ) osiągnął największą wartość. W samochodach osobowych, wewnątrz których dokonywano pomiarów, zanotowano niższe poziomy dźwięku A od pojazdów komunikacji miejskiej, jednak trzeba pamiętać, że hałas w nich występujący jest po części wynikiem obecności pozostałych podróżujących, w związku z czym może przyjmować różne wartości.

Poziom ekspozycji odniesiony do 8-godzinnego dobowego czasu pracy, oblicza się na podstawie poziomu równoważnego  $L_{Aeq}$  według następującego wzoru [13]:

$$L_{EX,8h} = L_{Aeq} + 10 \log \left( \frac{T}{T_0} \right)$$

gdzie  $T$  – czas wykonywania czynności, a  $T_0$  czas odniesienia – 8 godzin. Biorąc pod uwagę półgodzinny przejazd, wartość poprawki czasowej dla  $L_{Aeq}$  wynosić będzie ok. -12 dB. W związku z tym, po odjęciu danej poprawki w żadnym z ukazanych przypadków nie wystąpi przekroczenie dla najbardziej wrażliwej

Tabela 5. Zestawienie skutecznych, skorygowanych wartości przyspieszeń drgań w trzech kierunkach z uwzględnieniem niepewności rozszerzonej

Table 5. Comparison of vibration of weighted RMS acceleration in three directions with expanded uncertainty

Nazwa pojazdu	$1,4a_{wz}$ [m/s <sup>2</sup> ] kierunek X	$1,4a_{wz}$ [m/s <sup>2</sup> ] kierunek Y	$a_{wz}$ [m/s <sup>2</sup> ] kierunek Z	Wartości dopuszczalne dla osób dorosłych [m/s <sup>2</sup> ]	Wartości dopuszczalne dla osób młodocianych [m/s <sup>2</sup> ]
Jelcz M121MB	1,08 ±0,04	1,08 ±0,03	0,69 ±0,02	3,2	0,76
Solaris Urbino 18 Hybrid (miejsca z dala od przegubu)	0,22 ±0,02	0,20 ±0,02	0,31 ±0,02		
Solaris Urbino 18 Hybrid (miejsce przy przegubie)	0,74 ±0,03	0,74 ±0,04	0,67 ±0,06		
Mercedes-Benz O 530 G	0,25 ±0,02	0,24 ±0,03	0,41 ±0,03		
Bombardier E1	0,13 ±0,02	0,11 ±0,02	0,23 ±0,02		
PESA Twist 2014N (Krakowiak)	0,11 ±0,02	0,11 ±0,02	0,13 ±0,02		
Mercedes W124 250D	0,26 ±0,03	0,19 ±0,02	0,35 ±0,03		
Opel Astra H	0,25 ±0,02	0,20 ±0,02	0,26 ±0,02		

Tabela 6. Przyporządkowanie poziomów dyskomfortu do poszczególnych pojazdów na podstawie sumy wektorowej skutecznych, skorygowanych wartości przyspieszeń drgań z uwzględnieniem niepewności rozszerzonej

Table 6. Assignment of discomfort levels to individual vehicles based on the vector sum of vibration values of weighted RMS acceleration with expanded uncertainty

Nazwa pojazdu	Wartość skuteczna sum wektorowych przyspieszenia drgań wyznaczona zgodnie z ISO 2631-1 [12] [m/s <sup>2</sup> ]	Poziom dyskomfortu zgodnie z ISO 2631-1 [12]
Jelcz M121MB	1,47 ±0,05	niekomfortowo – bardzo niekomfortowo
Solaris Urbino 18 Hybrid (miejsca z dala od przegubu)	0,40 ±0,02	mały dyskomfort
Solaris Urbino 18 Hybrid (miejsce przy przegubie)	1,11 ±0,07	niekomfortowo
Mercedes-Benz O 530 G	0,54 ±0,04	mały dyskomfort – dość niekomfortowo
Bombardier E1	0,26 ±0,03	brak dyskomfortu
PESA Twist 2014N (Krakowiak)	0,21 ±0,02	brak dyskomfortu
Mercedes W124 250D	0,44 ±0,04	mały dyskomfort
Opel Astra H	0,38 ±0,02	mały dyskomfort

Tabela 7. Zestawienie wartości zmierzonych parametrów hałasu wewnątrz badanych pojazdów z uwzględnieniem niepewności rozszerzonej

Table 7. Comparison of noise parameters measured inside examined vehicles with expanded uncertainty

Nazwa pojazdu	$L_{AFmax}$ [dB]	$L_{Cpeak}$ [dB]	$L_{Aeq}$ [dB]	$L_{EX,8h}$ [dB]
Jelcz M121MB	87,7 ±2,3	117,6 ±2,3	75,0 ±2,3	63,0 ±2,3
Solaris Urbino 18 Hybrid	79,3 ±3,1	111,3 ±3,1	67,7 ±3,1	55,7 ±3,1
Mercedes-Benz O 530 G	81,8 ±2,8	111,7 ±2,8	66,7 ±2,8	54,7 ±2,8
Bombardier E1	80,1 ±2,2	112,5 ±2,2	65,3 ±2,2	53,3 ±2,2
PESA Twist 2014N (Krakowiak)	89,6 ±2,0	117,4 ±2,0	67,8 ±2,0	55,8 ±2,0
Mercedes W124 250D	81,1 ±1,6	111,4 ±1,6	59,0 ±1,6	47,0 ±1,6
Opel Astra H	74,5 ±1,2	113,9 ±1,2	57,7 ±1,2	45,7 ±1,2

grupy osób – kobiet w ciąży (65 dB). Warto jednak zauważyć, że w przypadku autobusu Jelcz M121MB zmierzona wartość jest bliska tej dopuszczalnej (różnica wynosi 2 dB).

Na rys. 4. porównano wybrane przebiegi parametrów  $L_{AFmax}$  oraz  $L_{Cpeak}$ . Linia ciągłą poziomą zaznaczono średnie wartości przedstawionych przebiegów. Fragmenty odpowiadają porównywalnym odcinkom trasy, przebytem w jednakowym czasie. U dołu wykresów znajdują się, w kolejności zgodnej z legendą, wartości obliczonych średnich wartości.

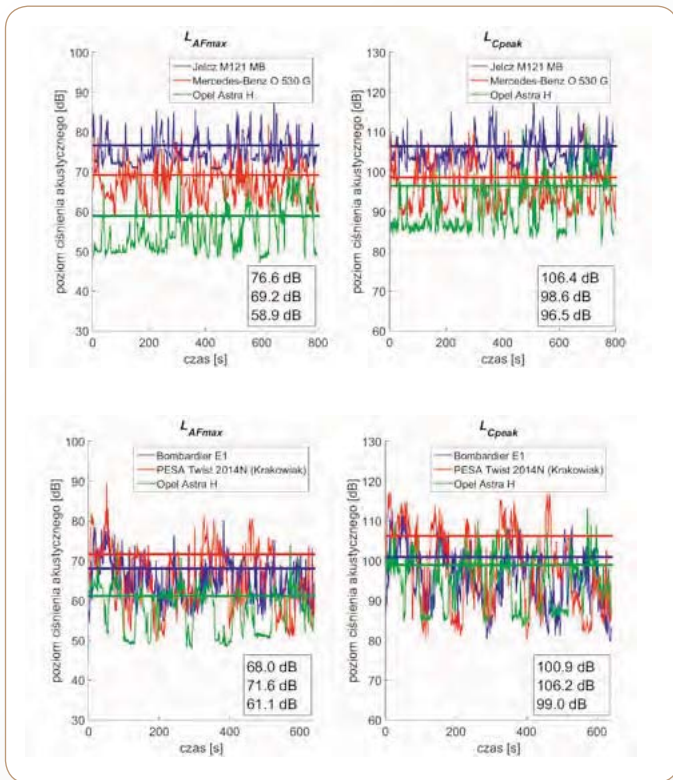
Wartość parametru  $L_{AFmax}$  zarejestrowana wewnątrz aut okazała się zdecydowanie niższa od wartości zmierzonych wewnątrz badanego taboru komunikacji miejskiej. W autobusach poziom był wyższy średnio o 10,3-17,7 dB, a w tramwajach o 6,9-10,5 dB w porównaniu z samochodem osobowym. To duże różnice pod względem subiektywnej oceny hałasu przez człowieka. W wynikach pomiarów parametru  $L_{Cpeak}$  odnotowano nieco mniejsze dysproporcje między taboru komunikacji miejskiej a autami. Ponownie w samochodzie osobowym występowały niższe poziomy, tym razem „tylko”

o 2,1-9,9 dB niż w autobusach i o 1,9-7,2 dB niż w tramwajach.

Na wykresach zaobserwować można duże różnice w wartościach parametrów hałasu między poszczególnymi rodzajami pojazdów. Zestawienie z rys. 5. świadczy o tym, że w przypadku pojazdów generujących najniższe poziomy ciśnienia akustycznego, jedynie  $L_{AFmax}$  jest parametrem znacząco odróżniającym (>8 dB) samochody osobowe od pojazdów komunikacji miejskiej. Porównanie średnich wartości wypadła na korzyść samochodów osobowych, w których generowany poziom ciśnienia akustycznego był o 7,5-8,5 dB niższy, niż w komunikacji miejskiej. Z kolei różnice w wynikach  $L_{Cpeak}$  mieszczą się w zakresie 0,3-2,4 dB, ponownie na korzyść samochodów osobowych.

W przypadku porównania pojazdów zestawionych na rys. 6. ukazują się znaczne różnice (8-14 dB) w wartościach obu parametrów. Wewnątrz samochodu osobowego zarejestrowano wyraźnie niższe poziomy dźwięku, niż w autobusie czy tramwaju. W odniesieniu do parametrów  $L_{AFmax}$  są to różnice 9,7-14,6 dB, a w przypadku  $L_{Cpeak}$  8,3-8,9 dB.





Rys. 4. Porównanie wyników pomiarów przeprowadzonych wewnątrz autobusów, tramwajów i samochodów osobowych na wybranych fragmentach tras

Fig. 4. Comparison of the results for buses and trams with passenger cars on selected sections of the routes

## Podsumowanie

Zbadana grupa pojazdów jest zbyt mała, by nazwać ją reprezentatywną, jednak można na jej przykładzie wyciągnąć wstępne wnioski.

Spośród analizowanych przypadków, najmniej niekorzystne pod względem narażenia na drgania okazały się tramwaje. Mniej korzystne wartości uzyskano w autach. Wyniki pomiarów przyspieszeń drgań w odniesieniu do obu tych środków transportu pozwalają stwierdzić, że podróże odbywają się co najwyżej z małym dyskomfortem.

Inaczej jest w przypadku autobusów, w których wykonane pomiary uwiaryściły przekroczenia wartości dopuszczalnych (odniesienie do warunków w środowisku pracy), co odznacza się stosunkowo dużym dyskomfortem podróży. Nawet w kilkudziesięciominutowym okresie jazdy może to stanowić zagrożenie dla osób młodocianych i kobiet w ciąży. Uwaga ta odnosi się zwłaszcza do starszych generacji autobusów i miejsc przy przegubie. Na szczęście w ostatnich latach pojazdy te są przez MPK Kraków sukcesywnie zastępowane nowymi, o poziomie komfortu jazdy porównywalnym z samochodem osobowym. Warto podkreślić różnicowanie uwiaryściwione w wynikach pomiarów w badanych autobusach w zależności od miejsca; wyniki potrafią się różnić blisko trzykrotnie (tab. 6.).

Najmniej niekorzystne pod względem narażenia na hałas warunki zarejestrowano w samochodach osobowych. W autobusach oraz tramwajach zarejestrowano znacznie wyższe wartości parametrów hałasu w przestrzeniach dla pasażerów.

Niespodziewanie okazało się jednak, że nowsza generacja tramwaju wcale nie oznacza niższego poziomu hałasu wewnątrz wagonu. Wyniki pomiarów w takim tramwaju były czasami wyższe od tych zmierzonych w autobusie z najstarszej generacji. Warto zauważyć jednak, że dopuszczalne ze względu na ochronę słuchu

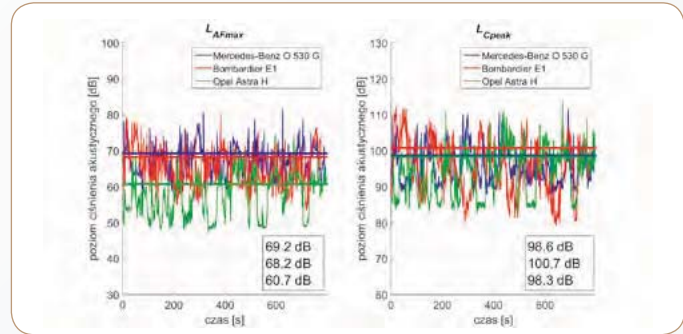
wartości hałasu nie zostały przekroczone w żadnym z badanych przypadków. Na dodatkową uwagę zasługuje kwestia bezpieczeństwa kobiet w ciąży w autobusach starszych typów, jak ukazany w artykule Jelcz M121MB. Wyniki pomiarów poziomu ekspozycji odniesionego do 8-godzinnej doby wymiaru czasu pracy, były bardzo zbliżone do dopuszczalnej wartości (różnica 2 dB). Należy zatem przeprowadzić większą liczbę badań w tym zakresie.

W przypadku hałasu trzeba mieć również na uwadze fakt, że niskie wartości poziomu ciśnienia akustycznego w kabinach samochodów osobowych, w porównaniu z pojazdami komunikacji miejskiej, występują głównie wtedy, gdy nie występują tam dodatkowe źródła hałasu, jak rozmowy między pasażerami czy włączone radio. W przeciwnym razie wartości te mogą być podobne, a niejednokrotnie nawet wyższe od wartości notowanych w autobusach.

Trzeba też pamiętać, że badania zostały przeprowadzone na jednej trasie i jedynie w kilku pojazdach, dlatego też wyniki nie mogą być uznane jako wartości reprezentatywne dla całych grup danych pojazdów. Nie ulega jednakże wątpliwości, że społeczeństwo powinno mieć większą świadomość zagrożenia drganiami i hałasem, których źródłem mogą być między innymi pojazdy, którymi codziennie się poruszamy.

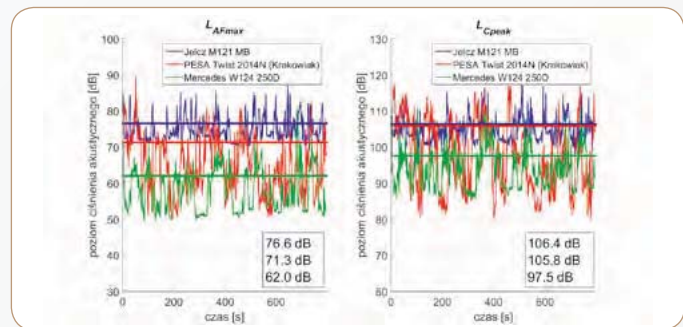
## BIBLIOGRAFIA

- [1] <http://krknews.pl/krakow-kocha-samochody-bardziej-niz-berlin-wieden/> (dostęp z dn. 27.08.2018)
- [2] <http://krakow.wyborcza.pl/krakow/7,44425,22812663,codzienna-inwazja-aut-na-krakow-ile-ich-wjezdza-skad-najwiecej.html?disableRedirects=true> (dostęp z dn. 27.08.2018)
- [3] Zajac G. *Badania hałasu i drgań w tramwajach*. „Czasopismo Techniczne. Mechanika” 2011, R. 108, Z. 2-M, s. 131-145, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej im. Tadeusza Kościuszki



Rys. 5. Porównanie wyników pojazdów każdego rodzaju o najniższych zmierzonych poziomach  $L_{AFmax}$  i  $L_{Cpeak}$  na wybranych fragmentach tras

Fig. 5. Comparison of the results for the quietest vehicles of each type on selected sections of the routes



Rys. 6. Porównanie wyników pojazdów każdego rodzaju o najwyższych zmierzonych poziomach  $L_{AFmax}$  i  $L_{Cpeak}$  na wybranych fragmentach tras

Fig. 6. Comparison of results for the loudest vehicles of each type on selected sections of the routes

[4] Kowalski P. *Drgania i hałas w pojazdach drogowych*. „Bezpieczeństwo Pracy. Nauka i Praktyka” 2007, 428, 5:10-13, Centralny Instytut Ochrony Pracy-Państwowy Instytut Badawczy

[5] Dziurda J. *Zagrożenia człowieka w środowisku pracy. Drgania i hałas*. Materiały dydaktyczne dla słuchaczy Studiów Podyplomowych dla Nauczycieli Przedmiotów Zawodowych, Warszawa 2011

[6] Wągrowka-Koski E., Lewańska M., Rybacki M., Turbańska R., Mikołajczyk A., Łoś-Spychalska T. *Ocena odległych skutków zdrowotnych narażenia na wibrację miejscową u osób z rozpoznaniem zespołem wibracyjnym*. „Medycyna Pracy” 2011, 62, 2:103112, Instytut Medycyny Pracy im. prof. J. Nofera w Łodzi

[7] Korbiel T., Stępień B., Batko W., Barański R., Mleczo D., Pawlik P., Blaut J. *Recognition of the 24-hour noise exposure of a human*. „Archives of Acoustics” 2017, 42, 4:601-607

[8] Rozporządzenie Ministra Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej z dnia 12 czerwca 2018 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy. Dz.U. 2018 poz. 1286

[9] Obwieszczenie Prezesa Rady Ministrów z dnia 29 sierpnia 2016 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu rozporządzenia Rady Ministrów w sprawie wykazu prac wzbronionych młodocianym i warunków ich zatrudnienia przy niektórych z tych prac. Dz.U. 2016 poz. 1509

[10] Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 3 kwietnia 2017 r. w sprawie wykazu prac uciążliwych, niebezpiecznych lub szkodliwych dla zdrowia kobiet w ciąży i kobiet karmiących dziecko piersią. Dz.U. 2017 poz. 796

[11] PN-EN 14253+A1:2011 Drgania mechaniczne – Pomiar i obliczanie zawodowej ekspozycji na drgania o ogólnym działaniu na organizm człowieka dla potrzeb ochrony zdrowia – Wytyczne praktyczne

[12] ISO 2631:1997 Mechanical vibration and shock – Evaluation of human exposure to whole-body vibration – Part 1: General requirements

[13] PN-EN ISO 9612:2011 Akustyka – Wyznaczanie zawodowej ekspozycji na hałas – Metoda techniczna

Artykuł powstał w ramach subwencji z Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego nr 16.16.130.942/KM/W.