

GRZEGORZ ZAJĄC*

BADANIA HAŁASU I DRGAŃ W TRAMWAJACH

STUDIES OF NOISE AND VIBRATIONS IN TRAMS

Streszczenie

Artykuł dotyczy problemu hałasu i drgań oddziałujących na pasażerów tramwajów typu 105 Na i NGT6 eksploatowanych przez MPK S.A. w Krakowie. W artykule przedstawiono opracowaną metodykę badań oraz wybrane wyniki badań i analiz hałasu, a także drgań mechanicznych oddziałujących na organizm człowieka w pozycji siedzącej. W badaniach uwzględniono również poziom hałasu i drgań występujący na stanowisku motorniczych prowadzących pociągi tramwajowe. Pomiary wibroakustyczne wykonano na postoju oraz w czasie jazdy na wybranych odcinkach torów tramwajowych w czasie realizacji normalnych (rozkładowych) zadań przewozowych. Opisano także wyniki analizy akustycznej percepcji komunikatów głosowych w tramwajach typu NGT6.

Słowa kluczowe: hałas, drgania, komunikaty głosowe, pojazdy szynowe, tramwaje, komfort wibroakustyczny

Abstract

This paper presents the problem of noise, vibration, affecting the passengers on the trams type 105 Na and NGT6 operated by MPK SA in Krakow. This article presents a methodology developed, selected research findings and an analysis of noise and general mechanical vibration affecting the whole human body in a seated position. The study also takes into account the level of noise and vibrations occurring on tram drivers. Vibroacoustic measurements were carried out on stationary trams and while driving on selected sections of the tram tracks at the time of normal (scheduled) tasks of traffic. It also describes the results of the analysis of acoustic perception of voice messages in a tram-type NGT6.

Keywords: noise, vibration, voice messages, rail vehicles, trams, vibroacoustic comfort

* Dr inż. Grzegorz Zajac, Instytut Pojazdów Szynowych, Wydział Mechaniczny, Politechnika Krakowska.

1. Wstęp

Narastające zjawisko kongestii transportowej w aglomeracjach miejskich spowodowane nadmiernym obciążeniem sieci transportowej pojazdami komunikacji indywidualnej, może sprzyjać rozwojowi komunikacji szynowej. Stanowi ona bardzo dobre rozwiązanie dla realizacji procesów przewozowych dla dużych potoków pasażerskich. Nowoczesne systemy komunikacji szynowej z torowiskami wydzielonymi funkcjonują według zoptymalizowanego rozkładu jazdy, minimalizując w ten sposób losowe przeciążenie sieci komunikacyjnej.

Do pojazdów szynowych komunikacji miejskiej należą:

- tradycyjne tramwaje (wysokopodłogowe),
- nowoczesne tramwaje (niskopodłogowe),
- tramwaje szybkie (SKM i SKR),
- pojazdy kolei i metra,
- pojazdy na poduszce powietrznej lub magnetycznej (lewitacyjne).

W perspektywie najbliższych lat prowadzone będą działania mające na celu stymulację rozwoju komunikacji szynowej, poprawiając jej rentowność, którą można uzyskać dzięki konsekwentnej strategii wymiany taboru na nowoczesny, mniej energochłonny, oferujący lepszą ergonomię podróżowania, wyższy poziom bezpieczeństwa, mniejsze szkodliwe oddziaływanie na otoczenie. Przeprowadzone badania i analizy porównawcze [7, 8] wykazały, że hałas o tym samym poziomie generowany przez transport szynowy kolejowy jest mniej irytujący dla odbiorców niż hałas drogowy. Również hałas emitowany przez tramwaje jest mniej dokuczliwy w porównaniu z hałasem emitowanym przez autobusy [21].

W pracy [20] wykazano, iż jednym z głównych czynników decydujących o wyborze przez potencjalnego pasażera rodzaju środka transportu, do przemieszczania się w aglomeracji miejskiej, jest oprócz kosztu, podatności danego systemu transportowego na kongestię, komfort podróżowania. W procesie przemieszczania się środkami komunikacji szynowej człowiek narażony jest na szereg oddziaływań, które w pewnej mierze mogą decydować o jego chwilowym stanie psychofizjologicznym, mając niejako wpływ na wybór danego środka transportu w przyszłości, pod warunkiem istnienia alternatywy.

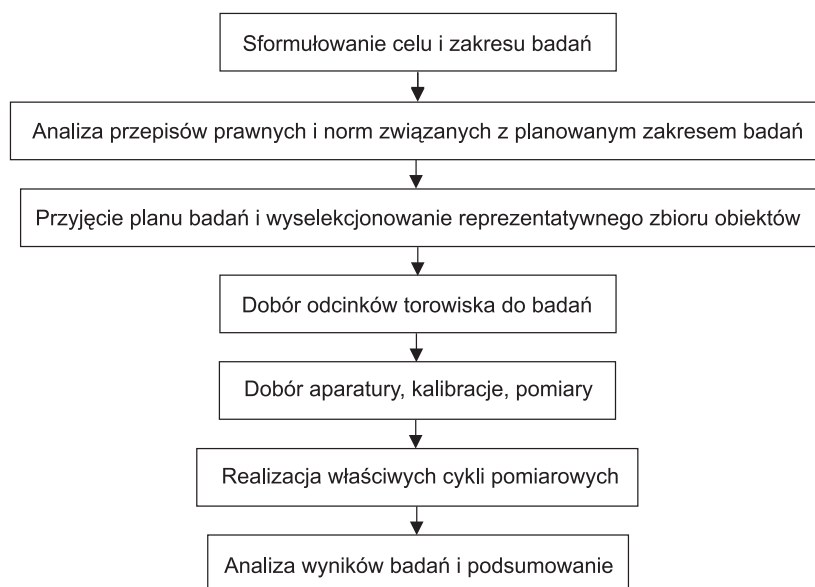
Z analizy wybranych pozycji literatury wynika m.in., że działanie na organizm dwu i więcej uciążliwych czynników, takich jak np. drgania i hałas, powodują zwiększenie sumarycznego efektu ich niekorzystnego oddziaływania, w stosunku do sytuacji, gdyby każdy z nich występował oddzielnie [3, 5]. W większości dotychczas przeprowadzonych w naszym kraju badaniach i pracach naukowych koncentrowano uwagę na oddziaływaniach wibroakustycznych w tramwajach głównie ze względu na: ich uciążliwe lub szkodliwe oddziaływanie w aspekcie obowiązujących norm, przepisów prawnych krajowych i zagranicznych [1, 5, 17, 18, 19] lub mając na celu diagnostykę stanu technicznego [23, 24], bądź też oceniano tylko jeden z parametrów, np. hałas [22].

W badaniach analizowano drgania ogólne oddziałujące na pasażerów, motorniczego oraz poziom hałasu w kabinie motorniczego, a także w przedziale pasażerskim. Ponadto przeprowadzono analizę akustyczną percepcji informacyjnych komunikatów głosowych przekazywanych pasażerom podróżującym nowoczesnymi tramwajami typu NGT6 [6].

2. Badania hałasu i drgań

Analiza istniejących norm i przepisów krajowych związanych z hałasem i drganiami w odniesieniu do tramwajów wykazała, że do badania hałasu we wnętrzu tramwaju nie ma stosownej normy, dlatego też przy lokalizacji punktów pomiarowych wykorzystywano normy PN-92/K-11000 [15], PN-90/S-04052 [14]. Natomiast przy pomiarze drgań ogólnych korzystano z następujących norm: PN-91/N-01352 [11], PN-91/N-01354 [10], PN-90/K-11001 [12], PN-90/K-11003 [13] oraz ISO 2631 [9]. Pomiary wykonano łącznie w 24 tramwajach (11-typu 105Na i 13-typu NGT 6), podczas realizacji procesów przewozowych zgodnie z obowiązującym rozkładem jazdy. Odcinki pomiarowe torowiska dobierano tak, aby była możliwość porównania badanych typów tramwajów na tym samym torowisku (ponieważ tramwaje NGT6 kursują tylko na określonych liniach). W pomiarach uwzględniono trzy typy nawierzchni tramwajowych, tj. torowisko zintegrowane z jezdnią wykonane w technologii węgierskiej; torowisko na płytach betonowych, szyny podlewane żywicą poliuretanową oraz torowiska wydzielone, szyny S 49 posadowione na podkładach struno-betonowych. Długości odcinków pomiarowych dla poszczególnych rodzajów torowiska zbilansowano w równych proporcjach. W czasie badań dni były pogodne, bez opadów atmosferycznych, prędkość wiatru nie przekraczała 5 m/s, temperatura otoczenia wynosiła od +18 do +25°C.

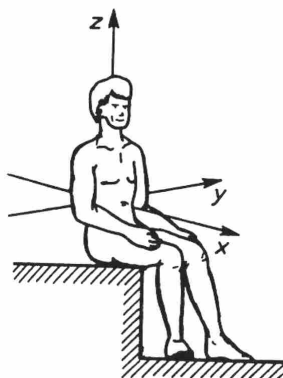
W badaniach zwrócono szczególną uwagę na zapewnienie komfortu podróżowania pasażerów, ale tylko ze względu na oddziaływania wibroakustyczne, nie uwzględniano ergonomii rozmieszczenia poszczególnych elementów wyposażenia wnętrza tramwaju oraz komfortu cieplnego, co może stanowić przedmiot dalszych badań w tym zakresie. Na rys. 1 przedstawiono algorytm realizacji etapów zadania badawczego.



Rys. 1. Algorytm realizacji poszczególnych etapów badania hałasu i drgań

Fig. 1. Algorithm for the various stages of noise and vibration testing

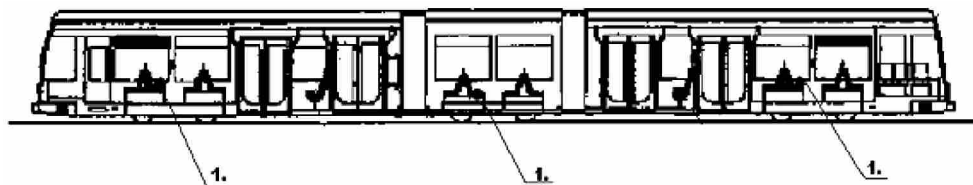
Ortogonalny układ osi, w których mierzono przyspieszenia drgań oddziałujących na człowieka, przyjęto jak na schemacie (rys. 2) [3].



Rys. 2. Oznaczenie kierunków osi (x , y , z) dla pomiaru przyspieszeń drgań ogólnych [3]

Fig. 2. Determination of direction axis (x , y , z) for measuring the acceleration of general vibration [3]

Oś x to oś pozioma, której zwrot i kierunek był zgodny z kierunkiem jazdy tramwaju, y to oś pozioma boczna (poprzeczna) względem korpusu człowieka od ramienia lewego do prawego, oraz z , to oś pionowa wzdłuż pionowej osi ciała człowieka w pozycji siedzącej. Na rys. 3 przedstawiono schematycznie punkty pomiaru przyspieszeń drgań oddziałujących na pasażera na przykładzie tramwaju NGT6.



Rys. 3. Schemat rozmieszczenia punktów pomiarowych przyspieszenia drgań na siedzikach fotela (1) w tramwaju NGT 6

Fig. 3. Schematic layout of measurement points of vibration acceleration on the seats (1) in the tram NGT 6

3. Analiza akustyczna percepcji komunikatów głosowych

Informacja przekazywana pasażerom komunikacji miejskiej w formie komunikatów głosowych stanowi bardzo istotny czynnik pozwalający na podejmowanie przez nich właściwych działań w procesie transportowym. Informacja przekazywana w komunikatach głosowych powinna być treściwa, jasna i zrozumiała dla pasażerów bez względu na tło akustyczne, jakie występuje w trakcie jazdy tramwaju (np. hałas). W prowadzonych anali-

zach klimatu akustycznego uwzględniono głównie zrozumiałość mowy, którą można zdefiniować jako prawdopodobieństwo poprawnego zrozumienia przekazywanych wyrazów, tworzących komunikat informacyjny o określonym znaczeniu logicznym i treściowym. Najczęściej jest ona ustalana eksperymentalnie i wyrażana w procentach jako stosunek poprawnie odebranych elementów fonetycznych mowy do całkowitej liczby tych elementów użytych do badania [16] (1):

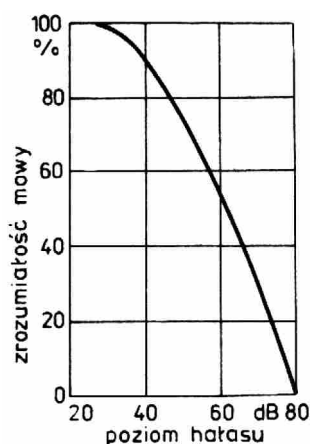
$$W = \frac{W_1}{W_0} \cdot 100\% \quad (1)$$

gdzie:

W_1 – liczba poprawnie usłyszanych elementów danego tekstu,

W_0 – całkowita liczba tych elementów zawartych w tym tekście.

W praktyce zrozumiałość mowy powyżej 85% uważa się za dobrą, w granicach 75–85% – za dostateczną, choć rozumienie treści podawanego tekstu wymaga skupienia uwagi i jest męczące. Natomiast w granicach 65–75% – za niedostateczną, zrozumiały jest, bowiem wówczas tylko ogólny sens mowy, a poszczególne wyrazy, a nawet zdania, mogą być niezrozumiałe lub rozumiane błędnie. Bardzo duże utrudnienie w prawidłowym odbiorze mówionego tekstu stanowią zakłócenia akustyczne występujące w postaci hałasu (rys. 4) [2] oraz własności akustyczne pomieszczenia, w którym odbywa się przekaz słowny.

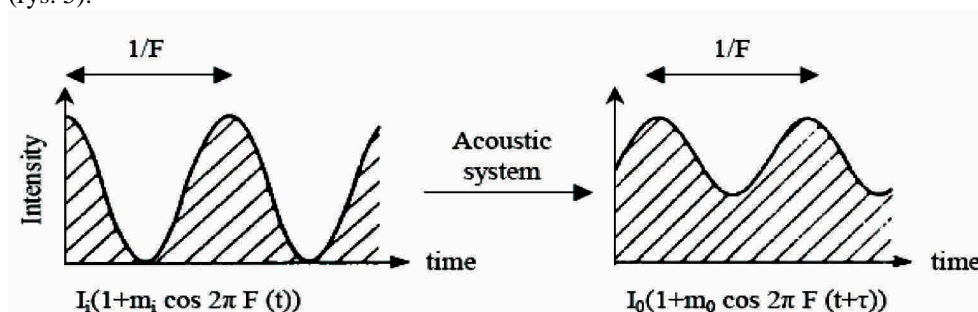


Rys. 4 Wykres zależności zrozumiałości mowy w pomieszczeniu od poziomu hałasu [2]

Fig. 4. A graph of the speech intelligibility in a room depending on the noise level [2]

Do określenia zrozumiałości mowy w tramwaju wykorzystano znormalizowane metody oceny akustycznej pomieszczeń, tj. STI (Speech Transmission Index) i RASTI (Rapid Speech Transmission Index). Metoda RASTI opiera się na dziewięciu pomiarach przeprowadzonych w 2 pasmach oktawowych o częstotliwościach środkowych 500 i 2000 Hz. Polega na wyznaczeniu modulacyjnej funkcji przejścia MTF (Modulation Transfer Function). Sygnał źródła dźwięku posiada obwiednię zmodulowaną sygnałem sinusoidalnym

o pewnej częstotliwości modulacji. System transmisji, jakim jest pomieszczenie, zmniejsza stopień modulacji sygnału, natomiast nie zmienia kształtu sinusoidalnej fali modulacyjnej (rys. 5).



Rys. 5. Zasada wyznaczania modulacyjnej funkcji przejścia [4]

Fig. 5. The principle of determination of the modulatory transition function [4]

W celu oceny zmniejszenia modulacji sygnału wejściowego wprowadzono współczynnik redukcji modulacji wejściowego wprowadzono współczynnik redukcji modulacji m , który jest zależny od częstotliwości modulacji i częstotliwości sygnału nośnego [4].

$$m(F) = \frac{m_o}{m_i} \quad (2)$$

Współczynnik redukcji modulacji $m(F)$ można obliczyć na podstawie znajomości odpowiedzi impulsowej w danym punkcie pomiarowym z zależności (3):

$$m(F) = \frac{\int_0^{\infty} h_f^2(\tau) \cdot e^{-j2\pi F \tau} d\tau}{\int_0^{\infty} h_f^2(\tau) d\tau} \quad (3)$$

gdzie:

h_f – odpowiedź impulsowa

F – częstotliwość [Hz],

Redukcja zrozumiałości mowy zależy przede wszystkim od pogłosu i poziomu tła, które występują w pomieszczeniach. Po obliczeniu dziewięciu wartości współczynników $m(F)$ oblicza się odpowiednio 9 wartości parametru $(S/N)_{app}$ (pozorny stosunek sygnału do szumu) z zależności (4), a wartość średnią $\overline{(S/N)}$ z zależności (5):

$$(S/N)_{app} = 10 \log \frac{m}{1-m} \quad (4)$$

$$\overline{(S/N)} = \frac{1}{9} \sum_{j=1}^9 ((S/N)_{app})_j \quad (5)$$

Wartość współczynnika RASTI oblicza się ze wzoru (6):

$$RASTI = \frac{[(S/N) + 15]}{30} \quad (6)$$

Wartość współczynnika RASTI można przedstawić w subiektywnej skali zrozumiałości mowy (tabela 1.).

Tabela 1

Ocena pomieszczenia na podstawie wartości współczynnika RASTI [4]

RASTI	Zrozumiałość mowy
0,00–0,30	zła
0,30–0,45	uboga
0,45–0,60	dostateczna
0,60–0,75	dobra
0,75–1,00	doskonała

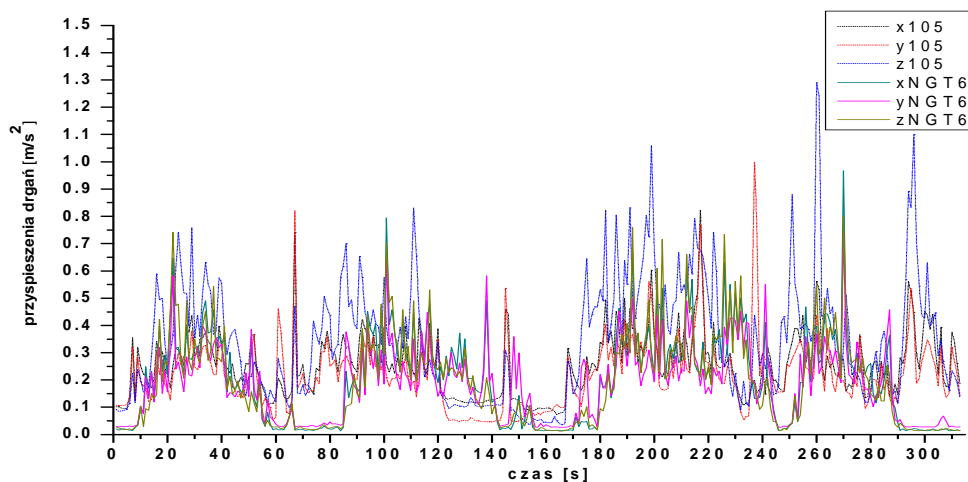
W badanym tramwaju NGT6 ustalono siatkę sześćdziesięciu punktów pomiarowych rozmieszczonych na miejscach podróżnych. System wysyłał sygnał MLS z wyjścia przetwornika A/C komputera na wejście liniowe wzmacniacza instalacji nagłośnieniowej wagonu. Poziom SPL ustalono w zakresie zbliżonym do poziomu, z jakim podawane są komunikaty głosowe podczas jazdy. Sygnał z głośników odbierany był za pomocą mikrofonu pomiarowego. Dokonano pomiaru odpowiedzi impulsowej przedziału pasażerskiego wagonu w określonych punktach siatki pomiarowej. Następnie obliczono wartości parametrów RASTI, STI oraz Alcons [6].

W trakcie badania percepcji komunikatów głosowych tramwaj był zahamowany, a urządzenia wentylacyjne były wyłączone. Pomiary przeprowadzono w zajezdni tramwajowej Miejskiego Przedsiębiorstwa Komunikacyjnego S.A. w Krakowie przy ulicy Jana Brożka 3.

4. Wyniki badania hałasu i drgań

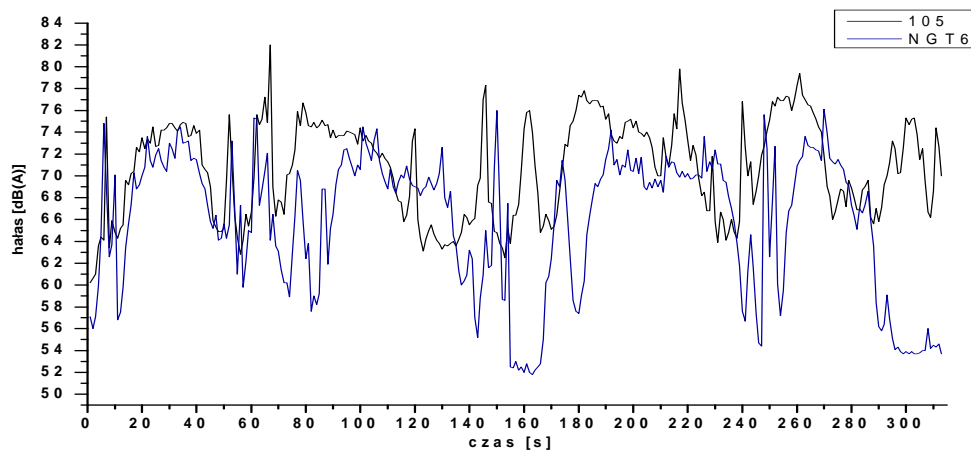
Przykładowe wyniki badań przeprowadzonych na 24 wytypowanych tramwajach eksploatowanych przez MPK S.A. w Krakowie przedstawiono w formie wykresów i histogramów słupkowych. Na rys. 4 pokazano przykładowy przebieg szczytowych przyspieszeń drgań ogólnych oddziałujących na pasażera siedzącego z przodu wagonu nad pierwszym wózkiem w tramwaju 105 Na i NGT6 na odcinku torowiska od przystanku Urzędnicza do Bronowic.

Porównując amplitudy drgań na tym samym odcinku torowiska i przy zachowanym zbliżonym profilu prędkości przejazdu tramwaju, można zauważyć, że pasażer tramwaju 105 Na jest narażony na wyższy poziom drgań ogólnych. Podobna sytuacja ma miejsce jeśli chodzi o poziom hałasu w tramwaju, co przykładowo zobrazowano na rys. 7. Przedstawia on przebieg czasowy poziomu hałasu wewnątrz tramwajów ważonego filtrem A na odcinku torowiska od przystanku Urzędnicza do Bronowic.



Rys. 6. Przebieg wartości szczytowych przyspieszeń drgań w kierunku x , y , z dla tramwaju NGT 6 (linie ciągłe) i 105 Na (linie przerywane) podczas przejazdu odcinka torowiska, od przystanku Urzędnicza do Bronowic

Fig. 6. The course of the peak of the vibration acceleration in the direction of x , y , z for the tram NGT 6 (solid lines) and 105 Na (dashed lines) during the passage of track, from the Urzędnicza- stop to Bronowice – terminus

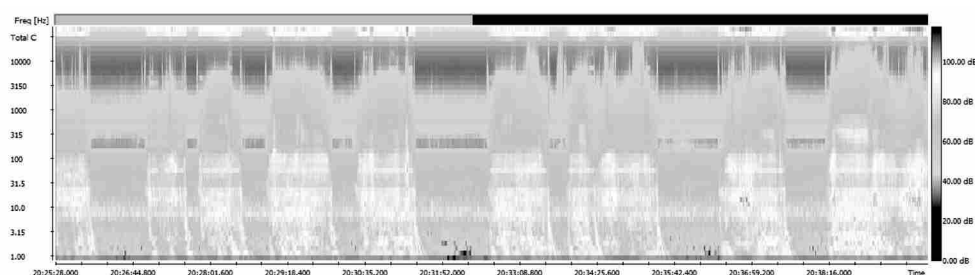


Rys. 7. Przebieg czasowy poziomu hałasu ważony filtrem A dla tramwaju NGT 6 i 105 Na zmierzony podczas przejazdu odcinka torowiska, od przystanku Urzędnicza do Bronowic

Fig. 7. Time run of the noise level weighted by filter A for both NGT6 and 105Na trams during the journey of the measured section of track, from Urzędnicza- stop to Bronowice – terminus

Przedstawiony rys. 7 o charakterze poglądowym pokazuje bardzo duże różnice w chwilowym poziomie hałasu występującym we wnętrzu badanych tramwajów. Największa różnica występuje w czasie postoju tramwaju na przystankach. Tak duża różnica poziomu hałasu na niekorzyść 105 Na uwarunkowana jest tym, iż tramwaj ten wyposażony jest w wirującą przetwornicę zespoloną z wentylatorami chłodzącymi silniki trakcyjne.

Badane widma hałasu z różnych odcinków torowisk poddawano analizom, m.in. dokonywano analizy tercjowej. Przykładowo taki typ analizy dla celów informacyjnych zaprezentowano na rys. 8. Wykonana ona została dla odcinka torowiska od Zajeżdni Tramwajowej Podgórze do pętli w Kurdwanowie.



Rys. 8. Analiza tercjowa w dziedzinie czasu poziomu hałasu, tramwaju NGT 6 nr 2026. Wynik pomiaru z przejazdu odcinka torowiska, od Zajeżdni Tramwajowej Podgórze do pętli w Kurdwanowie

Fig. 8. Time run of the noise level weighted by filter A for NGT6 nr 2026 tram during the journey of the measured section of track, from Zajeżdnia Tramwajowa Podgórze to Kurdwanów – terminus

Analizując rys. 8, można zauważyć dużą zmienność stochastycznych przebiegów poziomu hałasu w poszczególnych pasmach tercjowych, co wymuszane jest istotnym wpływem parametrów torowiska (np. zużycie faliste powierzchni szyny), profil prędkości przemieszczającego się tramwaju, tło hałasu zewnętrznego pochodzącego od innych uczestników ruchu itp.

Na rys. 9 w postaci histogramu słupkowego zobrazowano ekwiwalentny poziom hałasu we wnętrzu badanych tramwajów podczas postoju wykonany na podstawie norm: PN-92/K-11000 [15] i PN-90/S-04052 [14].

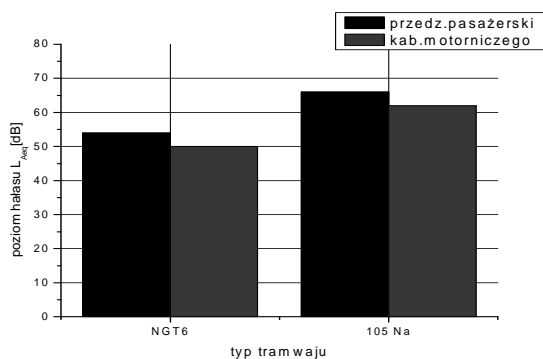
Natomiast na rys. 10 pokazano równoważny poziom hałasu we wnętrzu tramwaju dla prędkości 50 km/h podczas jazdy po torowisku wydzielonym (szyny S49, podkłady struno-betonowe).

Z analizy histogramu (rys. 10) wynika, że tramwaj typu 105 Na charakteryzuje się o kilka decybeli wyższym ekwiwalentnym poziomem hałasu w czasie jazdy w stosunku do NGT6.

Istotnym parametrem, jaki analizowano w badaniach, był parametr komfortu, ale jak już zasygnalizowano wcześniej uwagę koncentrowano tylko na oddziaływaniach wibroakustycznych decydujących o komforcie podróży. Na rys. 11 przedstawiono przykładowo wartości amplitudy przyspieszenia ogólnych drgań poziomych w kierunku osi x (schemat rys. 2) oddziałujących na siedzącego pasażera oraz motorniczego podczas przejazdów badanych tramwajów odcinka torowiska od przystanku Dworcowa do przy-

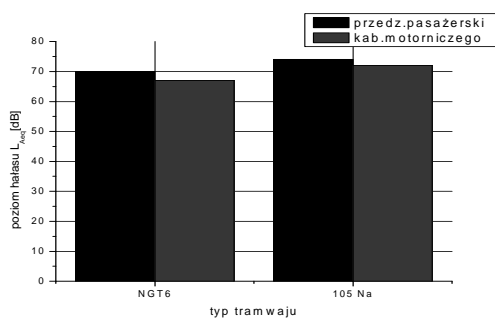
stanku Akademia Pedagogiczna. Na rys. 11 naniesiono granicę komfortu dla ośmiogodzinnego czasu ekspozycji na drgania zgodnie z normą ISO 2631 [9]. Związane to było również z oceną komfortu w stosunku do motorniczego dla którego kabina tramwaju stanowi miejsce pracy. Niewłaściwy klimat akustyczny i nadmierne oddziaływanie drgań mechanicznych na prowadzącego tramwaj potrafi spowodować zakłócenie jego percepcji zmysłowych, ograniczyć postrzeganie zjawisk z otoczenia itd., co może być następstwem ograniczenia bezpieczeństwa podróżowania tramwajem.

Z analizy rys. 11 wynika m.in., że w żadnym tramwaju nie ma przekroczenia granicy komfortu, jeśli chodzi o drgania ogólne w kierunku poziomym. Na rys. 12 pokazano drgania ogólne poziome oddziałujące w kierunku osi y , czyli poprzecznie w stosunku do kierunku jazdy tramwaju.



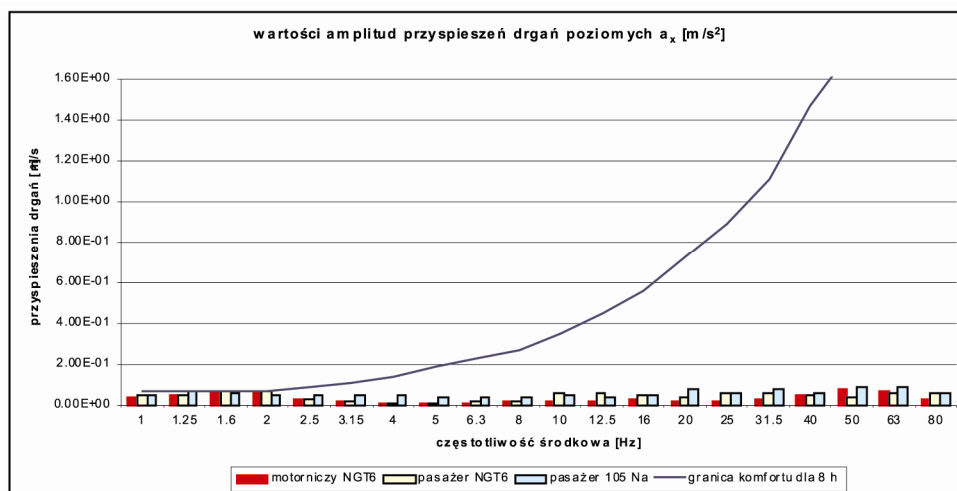
Rys. 9. Poziom hałas zmierzony na postoju zgodnie z PN-92/K-11000 dla tramwajów NGT 6 i 105 Na

Fig. 9. Noise level measured at standstill according to the norm PN-92/K-11000 for the trams NGT 6 and 105 Na.



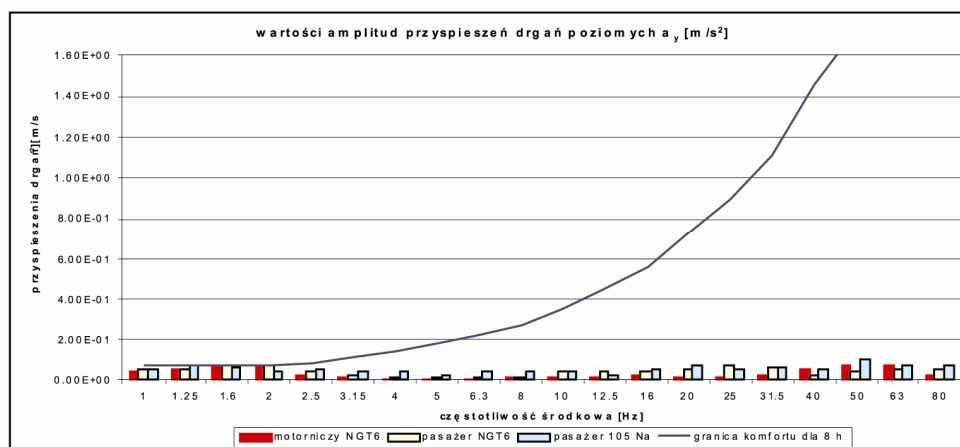
Rys. 10. Ekwiwalentny poziom hałasu dla prędkości 50 km/h – torowisko wydzielone

Fig. 10. Equivalent noise level for a speed of 50 km/h – dedicated trackway



Rys. 11. Amplitudy przyspieszeń drgań poziomych, ogólnych w kierunku osi x oddziaływujące na motorniczego i pasażerów tramwajów NGT6 i 105 Na

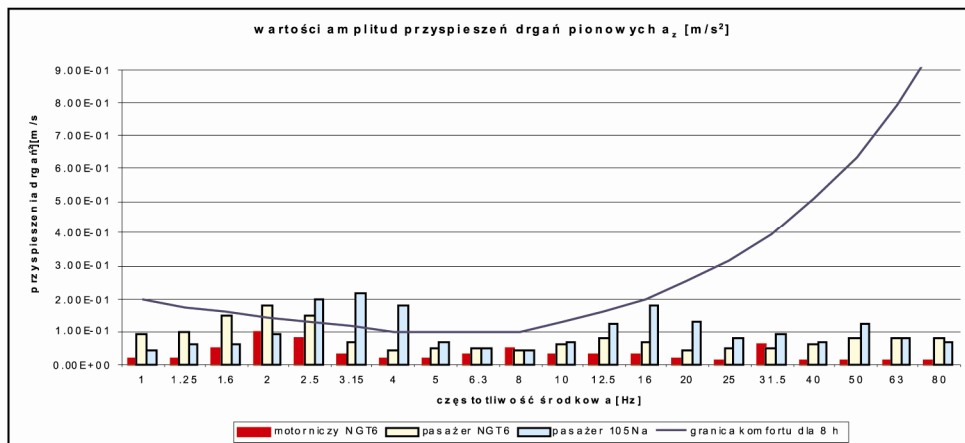
Fig. 11. Acceleration amplitude of horizontal, general vibration in the x – axis direction, acting on tram driver and passengers in trams type 105 Na and NGT6



Rys. 12. Amplitudy przyspieszeń drgań poziomych, ogólnych w kierunku osi y oddziaływujące na motorniczego i pasażerów tramwajów NGT6 i 105 Na

Fig. 12. Acceleration amplitude of horizontal, general vibration in the y – axis direction, acting on tram driver and passengers in trams type 105 Na and NGT6

Z rys. 12 wynika również, że w przypadku drgań poziomych poprzecznych w kierunku osi y (rys. 2) nie występują przekroczenia granicy komfortu. Amplitudy przyspieszeń drgań pionowych w kierunku osi z pokazano na rys. 13.



Rys. 13. Amplitudy przyspieszeń drgań pionowych, ogólnych w kierunku osi z oddziaływujące na motorniczego i pasażerów tramwajów NGT6 i 105 Na

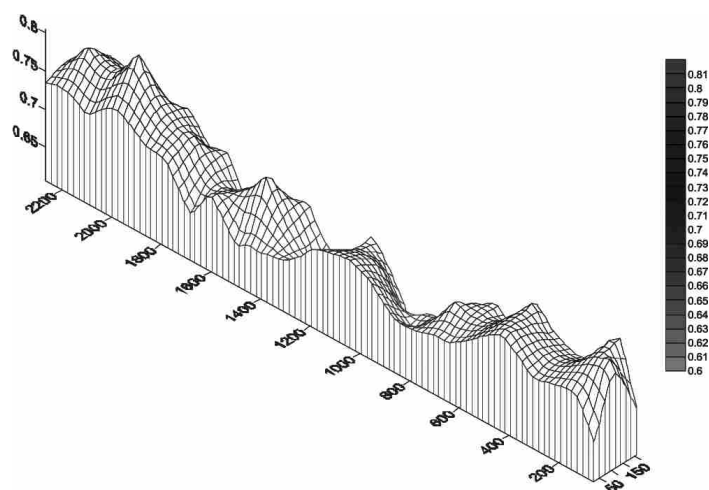
Fig. 13. Acceleration amplitude of vertical, general vibration in the z – axis direction, acting on tram driver and passengers in trams type 105 Na and NGT6

Analizując rys. 13, można zauważyć, że przyspieszenia drgań oddziaływujące na motorniczego nie przekraczają granicy komfortu. Natomiast przekroczenia występują dla tramwaju typu NGT6 w częstotliwościach środkowych 2 i 2,5 Hz analizy tercjowej, a w przypadku tramwaju 105 Na jest to zakres częstotliwości od 2,5–4 Hz. Przekroczenia te są jednak niewielkie i odnoszą się do granicy komfortu przewidzianego dla ośmiogodzinnego czasu ekspozycji na drgania – w przypadku pasażerów praktycznie nie występuje tak długi czas ekspozycji. Zmieniając czas ekspozycji na 60 min, dopuszczalna wartość amplitudy przyspieszeń drgań zwiększy się prawie czterokrotnie i w tym przypadku nie nastąpi przekroczenie granicy komfortu.

5. Wyniki analizy akustycznej percepcji komunikatów głosowych

Wartości rozkładu parametru RASTI w badanym tramwaju zaprezentowano w postaci wykresu przestrzennego izolinii na rys. 14 i 15. Z analizy rys. 14 i 15 wynika, że wartość parametru RASTI zawiera się w przedziale od 0,6408 do 0,8091 odnosząc te wartości do normy, stopień zrozumiałości komunikatów głosowych zawiera się w przedziale od dobrego do doskonałego. Lokalne ekstrema (max.) występują w miejscach, gdzie zlokalizowane są głośniki systemu nagłośnienia tramwaju. Najwyższe wartości osiągnęte są na obszarach wysokiej podłogi, co uwarunkowane jest mniejszą odległością od głośników.

Wskaźnik zrozumiałości mowy określony metodą RASTI porównano ze wskaźnikiem STI. Wartości parametru STI są bardzo zbliżone do wyników pomiaru parametru RASTI. Parametr STI w przedziale pasażerskim zawiera się w zakresie od 0,629 do 0,7837, co również jest wynikiem ocenianym jako dobry i doskonały.



Rys. 14. Przestrzenny rozkład parametru RASTI w wagonie NGT6
 Fig. 14. The spatial distribution of the parameter RASTI in the NGT6 tram



Rys. 15. Rozkład parametru RASTI w tramwaju NGT6
 Fig. 15. Distribution on the parameter RASTI in the NGT6 tram

6. Wnioski

Przeprowadzone badania pozwoliły dokonać analizy podstawowych parametrów wibroakustycznych, jakimi można uznać hałas i drgania oddziałujące na motorniczych oraz pasażerów tramwajów typu 105 Na i NGT6 eksploatowanych w MPK S.A. w Krakowie. Analizując hałas w aspekcie norm dotyczących pojazdów szynowych, stwierdzono przekroczenie dopuszczalnego poziomu hałasu ekwiwalentnego na postoju i w czasie jazdy dla tramwajów typu 105 Na. Badania amplitud przyspieszeń drgań ogólnych oddziałujących na człowieka w pozycji siedzącej wykazały, że dla drgań o kierunku poziomym nie występują przekroczenia granicy komfortu dla ośmiogodzinnego czasu ekspozycji na drgania. Przekroczenia granicy komfortu wystąpiły w przypadku drgań o kierunku pionowym (oś z) i to tylko w odniesieniu do pasażerów. Należy jednak podkreślić, że zmiana czasu ekspozycji na drgania z 8 godz. na 60 min zwiększyłaby wartości przyspieszeń drgań dla granicy komfortu prawie czterokrotnie. W takim przypadku nie nastąpiłoby przekroczenie granicy komfortu.

Analiza akustyczna percepcji komunikatów głosowych z wykorzystaniem obiektywnych metod wykazała, że system nagłośnienia stosowany w tramwajach NGT6 charakteryzuje się bardzo dobrą jakością transmisji fonicznej. Zrozumiałość komunikatów głosowych określana jest jako dobra i doskonała.

W badaniach nie uwzględniono komfortu cieplnego i ergonomii przestrzeni pasażerskiej, stopnia wypełnienia pasażerami, co będzie stanowić zakres dalszych badań w tej dziedzinie.

Literatura

- [1] Augustyńska D., Kowalski P., *Strategia ochrony pracowników przed drganiami mechanicznymi – według nowych przepisów prawnych – europejskich i krajowych*, Bezpieczeństwo pracy nr 5/2006, 8-10.
- [2] Cempel Cz., *Wibroakustyka stosowana*, PWN, Warszawa 1989.
- [3] Engel Z., *Ochrona środowiska przed drganiami i hałasem*, PWN, Warszawa 2001.
- [4] Engel Z., Engel J., Kosała K., Sadowski J., *Podstawy akustyki obiektów sakralnych*, Wydawnictwo ITE-PIB, Kraków–Radom 2007.
- [5] Koton J., Majewski A., *Drgania i hałas na stanowiskach pracy w środkach komunikacji miejskiej – badania dozymetryczne*, Bezpieczeństwo pracy nr 7-8/2004, 12-15.
- [6] Łojowski G., *Analiza akustyczna percepcji komunikatów głosowych w tramwaju NGT6*, Praca Dyplomowa Magisterska zrealizowana w Instytucie Pojazdów Szynowych, Politechnika Krakowska 2009.
- [7] Miedema H.M.E., Oudshoorn C.G.M., *Annoyance from transportation noise: relationships with exposure metrics DNL and DENL and their confidence intervals*, Environmental Health Perspectives 109, 2001, 409-416.
- [8] Miedema H.M.E., Vos H., *Exposure – response relationships for transportation noise*, Journal of the Acoustical Society of America 104, 1998, 3432-3445.
- [9] Norma ISO 2631:1 1997 Mechanical vibration and shock. Evaluation of human exposure to whole-body vibration, Part 1, General requirements.

- [10] Norma PN-91/N-01354 – *Dopuszczalne wartości przyspieszenia drgań o ogólnym oddziaływaniu na organizm człowieka i metody oceny narażenia.*
- [11] Norma PN-91/N-01352 – *Drgania. Zasady wykonywania pomiarów na stanowiskach pracy.*
- [12] Norma PN-90/K-11001 – *Ochrona pracy. Kabina maszynisty lokomotywy elektrycznej dwukabinowej. Podstawowe wymagania bezpieczeństwa pracy i ergonomii.*
- [13] Norma PN-90/K-11003 – *Ochrona pracy. Kabina maszynisty lokomotywy elektrycznej dwukabinowej, Metodyka badania drgań.*
- [14] Norma PN-90/S-04052 – *Samochody. Dopuszczalny poziom hałasu wewnątrz pojazdu, Wymagania i badania.*
- [15] Norma PN-92/K-11000 – *Tabor kolejowy. Hałas. Ogólne wymagania i badania.*
- [16] P u z y n a Cz., *Podstawowe wiadomości o dźwiękach i ich oddziaływanie na człowieka*, Instytut Wydawniczy Związków Zawodowych, Warszawa 1985.
- [17] Rozporządzenie Ministra Gospodarki i Pracy z dnia 5 sierpnia 2005 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy pracach związanych z narażeniem na hałas lub drgania mechaniczne, Dz.U. nr 157, poz. 318.
- [18] Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 29 listopada 2002 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy, Dz.U. nr 217, poz. 1833; zm. Dz.U. z 2005 r., nr 212, poz. 1769.
- [19] Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 20 kwietnia 2005 r. w sprawie badań i pomiarów czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy, Dz.U. nr 73, poz. 645.
- [20] R ó ż e ń s k i P., *Badania ekologiczne środków transportu*, Praca dyplomowa DTE-209/07-SM, Instytut Pojazdów Szynowych Politechniki Krakowskiej, 2007.
- [21] Sandrock S., Griefahn B. Kaczmarek T., Hafke H., Preis A., Gestland T., *Experimental studies on annoyance caused by noises from trams and buses*, Journal of Sound and Vibration 313, 2008, 908-919.
- [22] Tomaszewski F., Orczyk M., *Ocena poziomu hałasu wewnątrz tramwajów na podstawie badań*, Pojazdy Szynowe nr 4, 2007, 1-6.
- [23] U h l T., Batko W., Skorupa M., Korbiel T., *Diagnostyczne badania stanu technicznego pojazdów tramwajowych w MPK Kraków S.A.*, AGH, Kraków 2002.
- [24] U h l T., *Prace badawcze Katedry Robotyki i Dynamiki Maszyn*, Monografie WIMiR, Problemy Inżynierii Mechanicznej i Robotyki, Kraków 2002, 150-163.