

## Ocena klimatu akustycznego w przestrzeni pasażerskiej elektrycznego zespołu trakcyjnego serii EN57

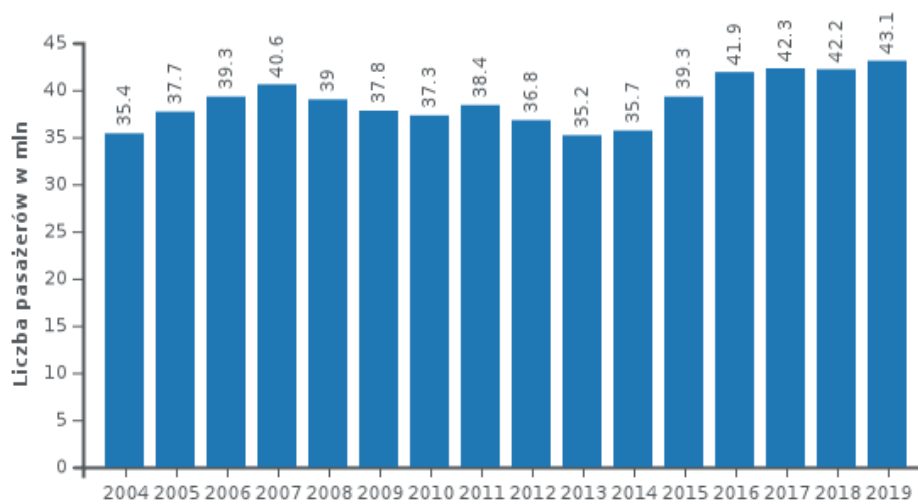
### Streszczenie

W pracy przedstawiono wyniki badań poziomów dźwięku w przestrzeni pasażerskiej elektrycznego zespołu trakcyjnego (EZT) serii EN57 podczas postoju, rozruchu, jazdy oraz hamowania. Badania przeprowadzono na podstawie autorskiej metodyki badawczej bazując na normie PN-EN ISO 3381:Kolejnictwo. Akustyka. Pomiar hałasu wewnątrz pojazdów szynowych. Badania przeprowadzono na linii kolejowej nr 250 od przystanku Gdańsk Śródmieście do stacji Rumia. Celem badań była ocena klimatu akustycznego w przestrzeni pasażerskiej elektrycznego zespołu trakcyjnego serii EN57, trójmiejskiej szybkiej kolei miejskiej linii S2 Gdańsk Śródmieście – Rumia. Wyniki przeprowadzonej analizy wskazały na miejsca potencjalnie zagrożone wyższymi poziomami dźwięków niż pozostałe oraz wpływ tych poziomów dźwięku na pasażerów korzystających z transportu publicznego jakim jest EZT serii EN57 w Trójmieście.

### 1. WSTĘP

Obecnie w codziennym życiu słuch człowieka z każdej strony narażony jest na uciążliwe, nieprzyjemne dźwięki, które wpływają dokuczliwie na samopoczucie, bądź są wręcz szkodliwe dla naszego zdrowia. Problem ten dotyka również podróżujących do pracy, szkoły czy po prostu podczas czasu wolnego. Zarówno jadąc do pracy czy na wakacje podróżujący oczekuje wyciszenia i spokoju, czego nie zawsze może doświadczyć w komunikacji miejskiej. Z każdym rokiem wzrasta liczba osób wybierających transport publiczny na rzecz samochodu w dojeździe do pracy. W Gdańsku z transportu miejskiego w 2018 roku skorzystało 175,7 mln pasażerów, o 100 tys. więcej niż w 2017 roku i ok. 13 mln więcej niż w 2012 roku. Szybką Koleją Miejską w Trójmieście (SKM), w 2019 roku, podróżowało 43,1 mln pasażerów, czyli o 900 tyś. więcej niż w roku 2018. Od 2016 roku liczba osób korzystających z SKM wynosi około 42 mln a na przestrzeni 14 lat dochodzi do ciągłego zwiększenia zainteresowania podróżowaniem koleją miejską. Część składów SKM eksploatowana jest od pięćdziesięciu lat i dźwięki pracującego pojazdu szynowego wpływają negatywnie na zdrowie osób przebywających wewnątrz.

Celem pracy jest ocena klimatu akustycznego w przestrzeni pasażerskiej elektrycznego zespołu trakcyjnego serii EN57, trójmiejskiej szybkiej kolei miejskiej linii S2 Gdańsk Śródmieście – Rumia. Poziom hałasu został zmierzony miernikiem dźwięku na postoju, podczas rozruchu i jazdy oraz podczas hamowania pociągu na wysokości miejsca siedzącego oraz stojącego dla dwóch punktów pomiarowych. Analiza wyników i wniosków wynikających z przeprowadzonych badań, ma na celu pokazanie z jakimi poziomami dźwięków ma styczność człowiek korzystający z usług SKM w pojazdach typu EN57. Dodatkowo, synteza pracy wskazuje wpływ zmierzonych poziomów dźwięku na zdrowie podróżnych.

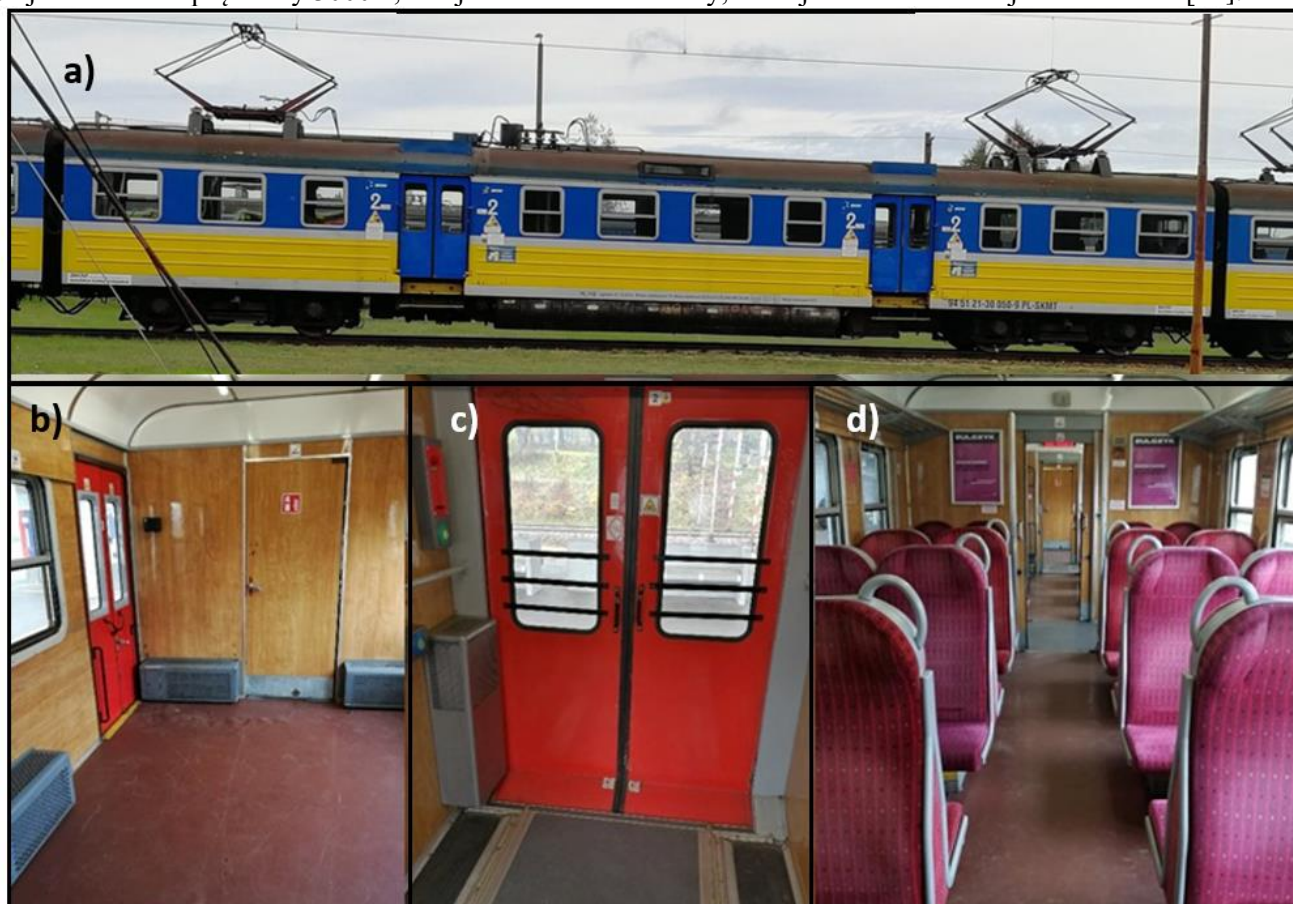


Rys. 1. Liczba pasażerów podróżująca Szybką Koleją Miejską w Trójmieście w ciągu roku [1]

## 2. CHARAKTERYSTYKA OBIEKTÓW BADAŃ

### 2.1. Charakterystyka elektrycznego zespołu trakcyjnego serii EN57

Elektryczny zespół trakcyjny (EZT) serii EN57 jest to pojazd szynowy normalnotorowy przystosowany do niskich peronów, składający się z trzech członów (rys. 2). Oznaczenie pociągu serii EN57 określa jego cechy takie jak: rodzaj trakcji: trakcja elektryczna, cecha pojazdu: niskoperonowy, elektryczne zespoły trakcyjne: zespoły trójczłonowe na prąd stały 3000V, dalej numer inwentarzowy, rodzaj członu oraz kolejność członów [11].



Rys. 2. Wnętrze elektrycznego zespołu trakcyjnego serii EN57

a) Elektryczny zespół trakcyjny serii EN57, b) pierwszy przedział w wagonie rozrządczym, c) wejście do pociągu przez drzwi dwuskrzydłowe otwierane automatycznie wraz z rampą dla osób niepełnosprawnych, d) przedział wagonu silnikowego [opracowanie własne]

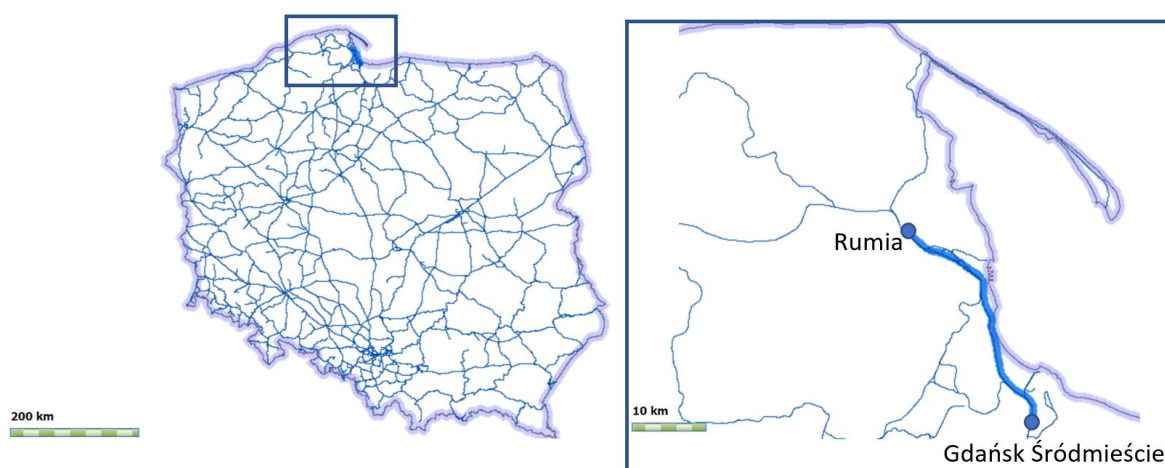
EZT serii EN57 charakteryzuje się możliwością przechodzenia z jednego wagonu do drugiego, co czyni go jedną wspólną przestrzenią pasażerską. Pojazd szynowy przystosowany jest do ruchu dwukierunkowego, więc posiada dwie kabiny sterownicze. Konstrukcję pojazdu można podzielić na dwie grupy, pierwszą rozrządczą zawierającą pierwszy oraz ostatni wagon i drugą silnikową znajdującą się w środku składu. Człony połączone są ze sobą bez głowicy, sprzęgiem nierozłączalnym w warunkach eksploatacyjnych oraz przejściem dla osób korzystających z tego środka transportu. Na początku i końcu zespołu trakcyjnego, czyli wagonach sterowniczych zamocowano 950 mm nad główką szyny samoczynne sprzęgi typu Scharfenberga. Zaletą sprzęgów typu Scharfenberga jest brak konieczności ingerencji personelu, użycia dodatkowych narzędzi czy urządzeń podczas łączenia ze sobą dwóch tożsamyh jednostek. EN57 może obsługiwać perony wysokie jak i niskie ponieważ stopnie zewnętrzne znajdują się 495 i 655 mm nad główką szyny [12].

Podwozie elektrycznego zespołu trakcyjnego EN57 składa się z wózków oraz elementów wiążących. Rozróżniamy dwa typy wózków: napędne, czyli zestawy kołowe pełniące funkcję napędową oraz toczne których komplety kołowe sprawują tylko funkcję toczną. Przeznaczeniem wózków jest możliwość zwiększania prędkości jazdy po torach konwencjonalnych, na których pojawiają się nierówności będące przyczyną drgań i hałasu. Poprawiają również kinematykę przemieszczania się pociągu po łukach o małych promieniach. Koła wózków napędnych zostały wyprodukowane ze stali St70P. Średnica kół wynosi 1000 mm, grubość 75 mm oraz szerokość 135 mm. Wózki wyposażone są w amortyzatory hydrauliczne, obrotowe zestawy kołowe, sprężyny śrubowe

oraz resory piórowe. Wagon silnikowy spoczywa na dwóch wózkach napędnych o rozstawie osi 2700 mm. Koła wózków tocznych zostały wyprodukowane ze stali St65P. Średnica kół wynosi 940 mm, grubość 65 mm oraz szerokość 135 mm. Wagony rozrządowe spoczywają na dwóch wózkach tocznych o rozstawie osi 2700 mm [11].

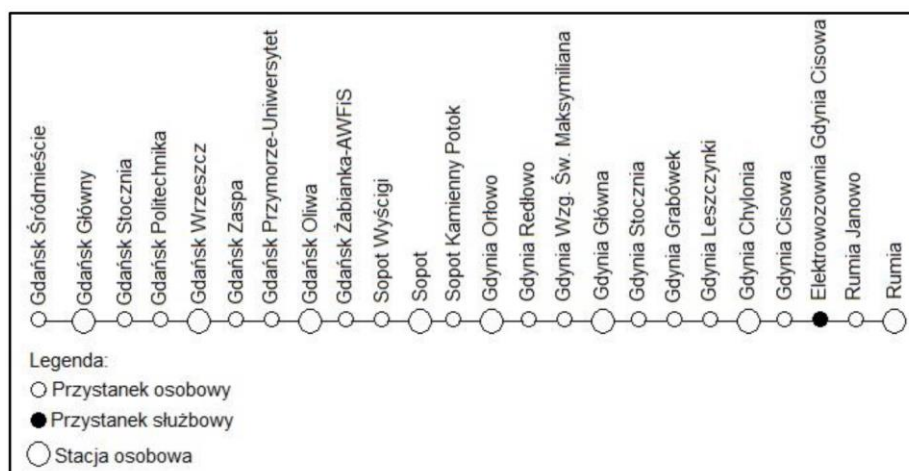
## 2.2. Charakterystyka linii kolejowej nr 250 Gdańsk Śródmieście – Rumia

Linia kolejowa nr 250 relacji Gdańsk Śródmieście – Rumia położona jest w województwie pomorskim (rys. 3). Długość trasy Gdańsk Śródmieście – Rumia wynosi około 33 km a przejazd zajmuje około 56 minut. Linia kolejowa nr 250 jest to linia pierwszorzędna, normalnotorowa, zelektryfikowana napięciem 3000 V. Posiada dwa tory i jest przeznaczona wyłącznie do przewozu pasażerów. Zarządcą linii nr 250 jest PKP Szybka Kolej Miejska w Trójmieście Sp. z o.o. (SKM). Na linii nr 250 dopuszczalna prędkość pociągów wynosi 70 km/h a dopuszczalny nacisk osi taboru wynosi 221 kN/oś [8].



Rys. 3. Linia kolejowa nr 250 Gdańsk Śródmieście – Rumia [opracowanie własne na podstawie interaktywnej mapy PKP PLK]

Linia nr 250 składa się łącznie z 24 punktów postojowych w tym z 16 przystanków osobowych, 7 stacji osobowych oraz 1 przystanku służbowego na żądanie. Przebieg całej trasy linii kolejowej nr 250 przedstawiono na rys. 4 [8].



Rys. 4. Przebieg linii kolejowej nr 250 [opracowanie własne]

Zasadniczą różnicą między stacją osobową, a przystankiem osobowym jest to, że stacja oprócz toru głównego zasadniczego posiada również przynajmniej jeden tor główny dodatkowy, dzięki czemu pociągi mogą rozpoczynać i kończyć jazdę. W rozkładzie jazdy SKM tylko niektóre pociągi rozpoczynają swój bieg z Gdańska Śródmieścia do Rumi. Większość pociągów kończy swoją trasę w kierunku Rumi na stacji Gdynia Chylonia lub Gdynia Cisowa.

Nawierzchnia na linii kolejowej nr 250 przeważnie składa się z szyn 60E1 do stacji Gdańsk Główny oraz na wybranych odcinkach z szyn S49. Na całej linii znajdują się głównie podkłady strunobetonowe PS-94 lub INBK-7 z przytwierdzeniami typu SB4. Szybka Kolej Miejska w Trójmieście z powodu dużego natężenia występującego na linii nr 250 ciągle pracuje nad poprawą stanu infrastruktury między innymi wykonując modernizację odcinków torów, podbicia stabilizujące, wymianę podkładów, regulację torów czy modernizację peronów. W ostatnim czasie wymienione zakresy robót były realizowane na stacji Gdynia Chylonia oraz przystanku Rumia Janowo.

## 2. METODYKA BADAŃ

Badania dźwięku w przestrzeni elektrycznego zespołu trakcyjnego serii EN57 przeprowadzono na podstawie autorskiej metodyki badawczej bazując na normie PN-EN ISO 3381:Kolejnictwo. Akustyka. Pomiar hałasu wewnątrz pojazdów szynowych. Norma ta określa warunki i metodykę pomiarów hałasu wewnątrz wagonów pasażerskich oraz w miejscu pracy maszynisty. Norma określa wysokość na jakiej powinno się wykonywać pomiar dźwięku, dla miejsc siedzących jest to 1,20 m, a dla miejsc stojących przyjmuje się 1,60 m nad poziomem podłogi [7].

W celu zarejestrowania poziomów dźwięku w EZT serii EN57, użyto miernika poziomu dźwięku typu 2250Light firmy Brüel&Kjaer. Miernik poziomu dźwięku 2250Light rejestrował równoważny poziom dźwięku z korekcją częstotliwościową A i C. Dodatkowo, zarejestrowano chwilowy poziom dźwięku LAF, również z korekcją częstotliwościową A i C oraz stałą czasową FAST. Podczas prowadzonych badań, ze względu na ich specyfikę, nie użyto osłony przeciwwietrznej (rys. 5) [2, 3, 9, 10].



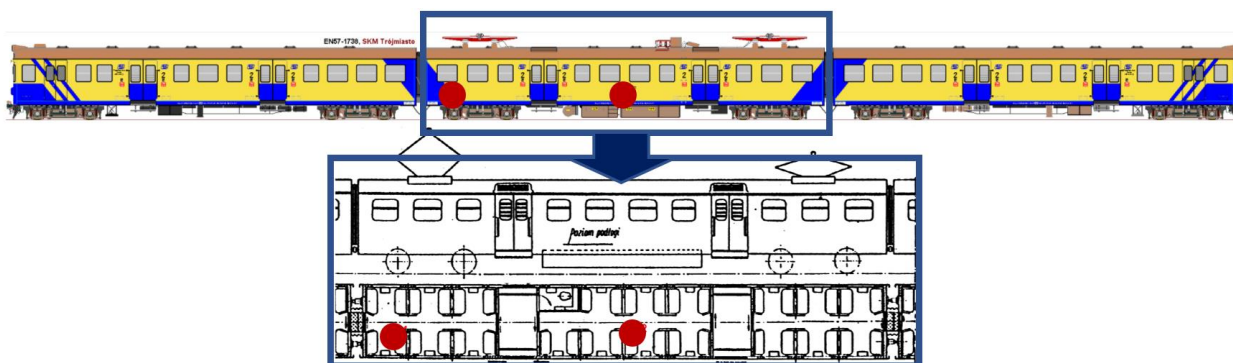
Rys. 5. Miernik poziomu dźwięku B&K 2250Light [opracowanie własne]

Badania przeprowadzono w środkowym wagonie silnikowym EZT serii EN57 na linii kolejowej nr 250 na trasie Gdańsk Śródmieście – Rumia. Zakres badań obejmował pomiar i analizę poziomów dźwięku:

- w przestrzeni pasażerskiej pociągu podczas postoju,
- w przestrzeni pasażerskiej pociągu podczas rozruchu,
- w przestrzeni pasażerskiej pociągu podczas jazdy,
- w przestrzeni pasażerskiej pociągu podczas hamowania,
- pomiar tła.

W pojeździe EZT serii EN57 wytypowano dwa punkty pomiaru: punkt nr 1 i punkt nr 2 (rys. 6).





Punkty pomiaru 1 2

Rys. 6. Umieszczenie punktów pomiaru dźwięku w EZT serii EN57 [opracowanie własne na podstawie 11]

Punkt pomiaru nr 1 znajdował się na początku drugiego wagonu przy członie łączącym. Drzwi do sąsiedniego wagonu przez cały pomiar były zamknięte natomiast drzwi łączące przedział z korytarzem pozostały otwarte. Punkt nr 1 jest punktem pomiaru umiejscowionym bezpośrednio na wózku. W tym punkcie wykonano pomiary na trasie Gdańsk Śródmieście – Gdynia Główna, mierząc poziom dźwięku na wysokości 1,20 m od poziomu podłogi (miejsce siedzące). Następnie, na trasie Gdynia Główna – Rumia wykonano pomiary na wysokości 1,60 m od poziomu podłogi (miejsce stojące).

Punkt pomiaru nr 2 znajdował się w części środkowej środkowego wagonu. Drzwi łączące przedział z korytarzem przez cały pomiar były otwarte co umożliwiło swobodne poruszanie się podróżnym. W tym punkcie wykonano pomiary na trasie Rumia – Gdynia Główna na wysokości 1,60 m od poziomu podłogi (miejsce stojące). Następnie na trasie Gdynia Główna – Gdańsk Śródmieście zmierzono poziom dźwięku na wysokości 1,20 m od poziomu podłogi (miejsce siedzące).

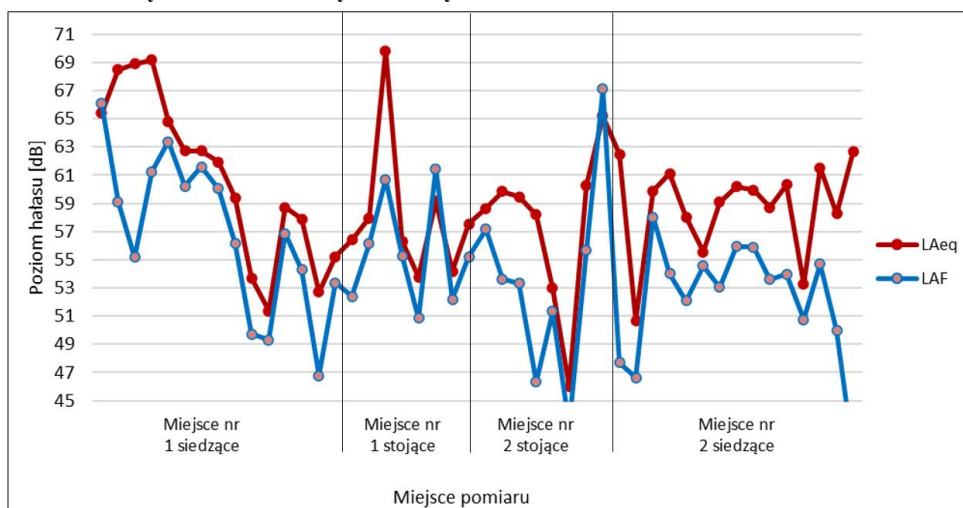
Badania zostały wykonane podczas jazdy pociągu w którym starano się osiągnąć zbliżone warunki dla każdego z pomiarów. Wszystkie okna w pociągu były zamknięte, natomiast w przedziałach znajdowali się podróżni w stopniu 30% zapęłnienia przedziału [4, 5, 6].

### 3. ANALIZA WYNIKÓW BADAŃ

#### 3.1. Analiza pomiaru dźwięku w przestrzeni pasażerskiej pociągu podczas postoju

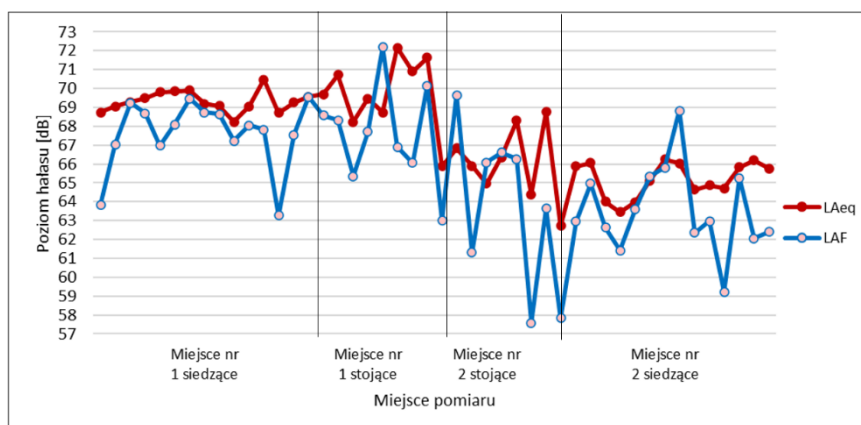
W analizie wyników badań tło akustyczne było częścią zmierzonych wartości poziomów dźwięku. Różnica pomiędzy obliczoną średnią wartością tła akustycznego a obliczonymi wartościami poziomów dźwięku wynikającymi z określonego etapu eksploatacji pociągu nie przekroczyło 20 dB. Zatem do dalszych analiz przyjmowano tło jako część hałasu bezpośrednio wpływającego na podróżnych.

Przebieg zmian poziomów dźwięku podczas postoju EZT serii EN57 na całej trasie przedstawiono na rysunku 7. Pomiar wykonano dla równoważnego poziomu dźwięku LAeq oraz chwilowego poziomu dźwięku LAF z korekcją częstotliwościową A i C oraz stałą czasową FAST.



Rys. 7. Rozkład pomiaru dźwięku LAeq oraz LAF podczas postoju pociągu [opracowanie własne]

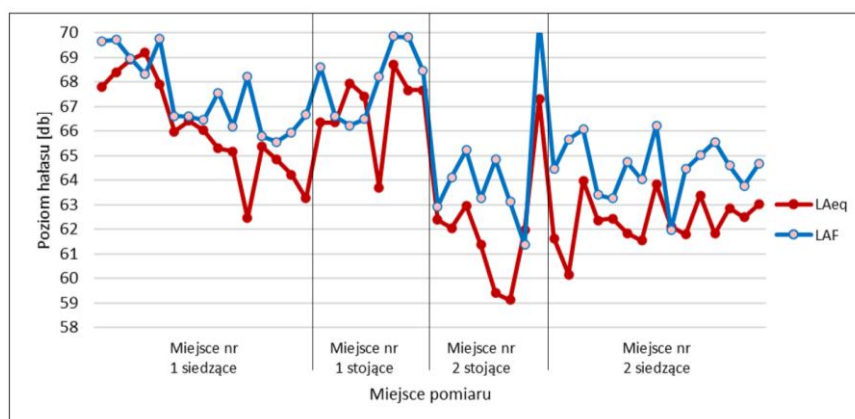
Najmniejsze wartości poziomów dźwięku podczas pomiarów odnotowano dla miejsca nr 2 zlokalizowanego na środku przedziału w pozycji stojącej 1,60 m od poziomu podłogi. Gwałtowne narastanie poziomu dźwięku jest spowodowane sygnałem dźwiękowym otwierania oraz zamykania drzwi wejściowych do pociągu. Na rysunku nr 8 przedstawiono przebiegi poziomów dźwięku podczas rozruchu pociągu na całej badanej trasie w dwóch punktach pomiaru.



Rys. 8. Rozkład pomiaru dźwięku LAeq oraz LAF podczas rozruchu pociągu [opracowanie własne]

Najmniejsze wartości wyników pomiarów odnotowano dla miejsca nr 2 stojącego, czyli w środkowym przedziale wagonu silnikowego, natomiast najwyższe wyniki poziomu dźwięku uzyskano w punkcie nr 1 dla miejsca stojącego.

Przebieg poziomów dźwięku podczas jazdy pociągu na całej trasie dla dwóch miejsc pomiaru przedstawiono na rysunku 9.

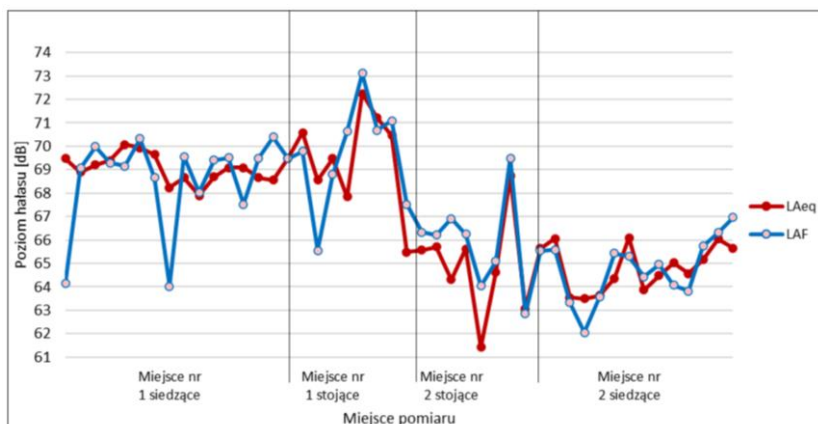


Rys. 9. Rozkład pomiaru dźwięku LAeq oraz LAF podczas jazdy [opracowanie własne]

Najmniejsze wartości wyników poziomów dźwięku odnotowano dla miejsca nr 2 stojącego w środkowym przedziale wagonu silnikowego.

Przebieg poziomów dźwięku podczas hamowania pociągu na całej trasie dla dwóch punktów pomiarowych przedstawiono na rysunku 10.

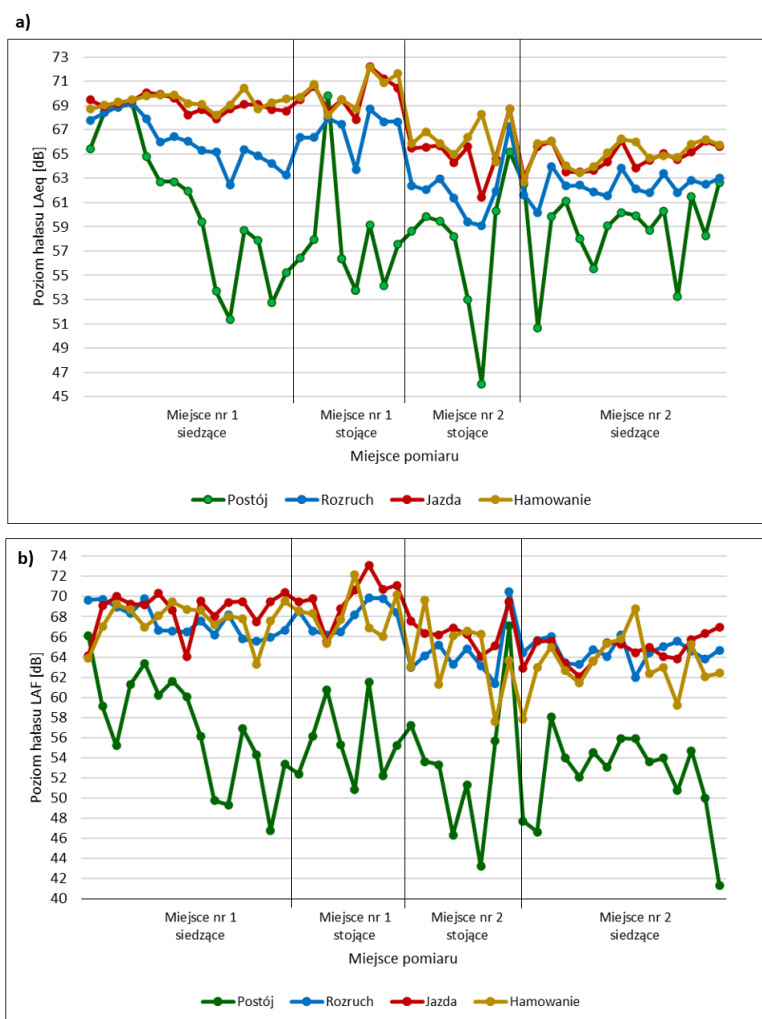




Rys. 10. Rozkład pomiaru dźwięku LAeq oraz LAF podczas hamowania [opracowanie własne]

Najmniejsze wartości zarejestrowanych wyników poziomów dźwięku odnotowano dla miejsca nr 2 stojącego, czyli w środkowym przedziale wagonu silnikowego.

Podczas wszystkich czynności eksploatacyjnej pociągu takich jak: postój, rozruch, jazda, hamowanie, niższe poziomy dźwięku zarejestrowano dla punktu pomiarowego nr 2 znajdującego się w środkowym przedziale wagonu silnikowego niż w przypadku miejsca nr 1 położonego bezpośrednio nad wózkiem napędowym (rys. 11).



Rys. 11. Wyniki pomiarów dźwięku a) LAeq oraz b) LAF dla miejsca pomiarowego nr 1 i 2 [opracowanie własne]

Najniższy poziom hałasu zarejestrowano podczas postoju pociągu a najwyższy poziom hałasu zarejestrowano w czasie hamowania. W analizie wyników poziomów dźwięku podczas rozruchu, jazdy jak i hamowania zauważalna

jest rejestracja poziomów hałasu w zbliżonym zakresie. Zarejestrowany poziom dźwięków podczas postoju w znacznym stopniu odbiega od tych wielkości.

Według przeprowadzonych badań w składach EN57 Szybkiej Kolei Miejskiej, osoba korzystająca z tego środka lokomocji ma do czynienia z równoważnym poziomem dźwięku LAeq - od 46,03 dB do 72,24 dB oraz chwilowym poziomem dźwięku LAF - od 41,33 dB do 73,11 dB. Poziom dźwięku zarejestrowany w pociągach SKM w niniejszych zakresach powoduje zmęczenie układu nerwowego a dłuższa ekspozycja może wpływać znacznie niekorzystnie na stan zdrowia.

#### 4. PODSUMOWANIE

W pracy przedstawiono wyniki badań dźwięku w przestrzeni pasażerskiej elektrycznego zespołu trakcyjnego (EZT) serii EN57 podczas postoju, rozruchu, jazdy oraz hamowania, które przeprowadzono na podstawie autorskiej metodyki badawczej bazując na normie PN-EN ISO 3381:Kolejnictwo. Akustyka. Pomiar hałasu wewnątrz pojazdów szynowych. Wyniki pomiarów wskazały najniższy poziom dźwięku podczas postoju pociągu, natomiast miejscem z mniejszym poziomem na ekspozycję hałasu okazał się środkowy przedział w wagonie silnikowym. W analizowanym składzie równoważny poziom dźwięku LAeq oscylował w przedziale 46,03 - 72,24 dB oraz chwilowy poziom dźwięku LAF zmieniał się od 41,33 dB do 73,11 dB. Dla punktu pomiarowego nr 1 zlokalizowanego bezpośrednio nad wózkiem napędnym odnotowano dziewięć wyników LAeq oraz LAF podczas jazdy i hamowania, których poziom dźwięku jest wyższy od 70 dB a ekspozycja na hałas na poziomie 70 dB wpływa negatywnie na zdrowie. W punkcie pomiaru nr 2 nie odnotowano poziomów dźwięku wyższych niż 70 dB. Porównując klimat akustyczny wewnątrz wagonu EZT między miejscem siedzącym, pomiar na wysokości 1,20 m od poziomu podłogi, a stojącym, pomiar na wysokości 1,60 m od poziomu podłogi, to miejsce siedzące dostarcza podróżującym większy komfort spowodowany niższymi poziomami dźwięku. Wnioskami wynikającymi z przeprowadzonych badań jest koncepcja kontynuacji badań klimatu akustycznego w nowszych i zmodernizowanych składach Szybkiej Kolei Miejskiej w Trójmieście. Dodatkowo zaplanowano przeprowadzenie analiz widma mocy rejestrowanych poziomów dźwięku oraz ankietyzację zadowolenia podróżnych.

#### Bibliografia

1. Grupa PKP – Raporty Roczne 2005 – 2019.
2. Kirpluk M.: Podstawy akustyki, Warszawa, 2012.
3. Licow R.: Ocena uszkodzeń powierzchni toczonej szyn kolejowych za pomocą zjawisk wibroakustycznych, Praca doktorska, Politechnika Poznańska, 2018
4. Orczyk M.: Analiza hałasu wewnętrznego autobusów komunikacji miejskiej, Prace naukowe Politechniki Warszawskiej, 2018
5. Orczyk M., Tomaszewski F.: Klimat akustyczny w wybranych typach tramwajów na postoju, Czasopismo techniczne, Politechnika Krakowska, 2012
6. Orczyk M., Tomaszewski F.: Porównanie hałasu panującego we wnętrzu wybranych typów pojazdów szynowych podczas jazdy, Politechnika Poznańska, Pojazdy szynowe 3/2014
7. PN-EN ISO 3381: Kolejnictwo. Akustyka. Pomiar hałasu wewnątrz pojazdów szynowych.
8. Regulamin sieci kolejowej zarządzanej przez PKP Szybką Kolej Miejską w Trójmieście Sp. z o.o
9. [www.bruel.com.pl](http://www.bruel.com.pl)
10. [www.hifi.pl](http://www.hifi.pl)
11. [www.transportszynowy.pl](http://www.transportszynowy.pl)
12. [www.wikiwand.com](http://www.wikiwand.com)

