

## Ocena poziomu hałasu w kabinie maszynisty lokomotyw elektrycznych podczas jazdy

*Problem drgań i hałasu jest obecnie jednym z ważniejszych zagadnień związanych ze środkami transportu, z jakim borykają się wszystkie zarządy kolejowe. W artykule omówiono główne źródła hałasu lokomotyw oraz przedstawiono wyniki pomiarów hałasu w kabinie maszynisty lokomotyw elektrycznych podczas jazdy. Ocena poziomu hałasu przeprowadzono w oparciu o pomiar poziomu dźwięku równoważnego  $L_{Aeq}$  oraz widmo oktawowo. Jako kryteria oceny przyjęto wartości podane normach.*

### 1. Wprowadzenie

Od mniej więcej 30 lat w różnych krajach Europy przedmiotem ożywionej dyskusji stał się hałas generowany przez środki komunikacji. Początkowo zajmowano się hałasem generowanym przez pojazdy drogowe, co jest zrozumiałe z tego względu, że większy procent ludności mieszka obok szos i ulic niż obok torów kolejowych. Jednak w latach 70-tych, również hałas generowany przez pojazdy szynowe stał się przedmiotem ogólnego zainteresowania.

Hałas wytwarzany przez pojazdy szynowe jest uciążliwy dla obsługi i pasażerów pociągu, jak też dla personelu stacji oraz mieszkańców budynków położonych w pobliżu linii i dworców kolejowych. Poziom hałas generowanego przez nowe środki transportu i inne urządzenia nie powinien przekraczać 70÷80 dB [1,2,5]. W miarę ich starzenia, poziom hałasu zwiększa się o kilka decybeli. Szczególnie uciążliwość jego wzrasta dla obsługi lokomotywy (maszynisty) podczas prowadzenia pociągu [6].

Hałasem w rozumieniu przepisów są wszelkie niepożądane, nieprzyjemne, dokuczliwe lub szkodliwe drgania rozprzestrzeniające się w postaci fal akustycznych o częstotliwości i natężeniu stwarzającym uciążliwość dla ludzi i środowiska.

W artykule przedstawiono wyniki pomiarów i oceny hałasu w kabinie maszynisty lokomotyw elektrycznych podczas jazdy z pociągiem. Przedmiotem badań były lokomotywy elektryczne EU07 i ET22, stanowiące podstawowe serie lokomotyw eksploatowanych na PKP.

### 2. Źródła hałasu lokomotyw elektrycznych

Źródła hałasu lokomotyw elektrycznych można podzielić na dwie grupy. Pierwsza związana jest z urządzeniami pracującymi wewnątrz lokomotywy (źródła wewnętrzne), druga dotyczy hałasu generowanego podczas przemieszczania się pociągu po torze (źródła zewnętrzne). Podczas jazdy z prędkością powyżej 100 km/h dodatkowym źródłem hałasu jest hałas aerodynamiczny.

#### 2.1. Źródła wewnętrzne hałasu

W lokomotywach elektrycznych występuje wiele źródeł generujących hałas o różnym natężeniu. Głównymi urządzeniami lokomotyw, które generują największy poziom hałasu są: maszyny elektryczne (silniki, przetwornice), wentylatory, sprężarki powietrza. Hałas tych urządzeń ma decydujący wpływ na poziom hałasu w kabinie maszynisty.

#### Maszyny elektryczne

Podstawowymi maszynami elektrycznymi w lokomotywach elektrycznych są silniki elektryczne prądu stałego, napędzające urządzenia pomocnicze oraz przetwornice wirowe. Generują one hałas pochodzenia mechanicznego, który jest wywołany ślizganiem się szczotek po powierzchni komutatora. Hałas pochodzenia aerodynamicznego w silnikach elektrycznych jest wywoływany obracającym się wirnikiem i tarczą wentylatora, a także przepływem powietrza przez kanały wentylacyjne i komory powietrzne maszyny. Najczęściej ten rodzaj hałasu określa poziom dźwięku silnika elektrycznego.

W każdym silniku elektrycznym działają okresowo zmieniające się siły magnetyczne, które wywołują drgania i hałas o określonych częstotliwościach. Są one szczególnie dokuczliwe wtedy, gdy częstotliwość zmian sił magnetycznych jest równa jednej z częstotliwości własnych stojana lub jego podparcia [3].

#### Wentylatory

W elektrycznych pojazdach szynowych wentylatory stosowane są do odprowadzania ciepła z nagrzewających się maszyn i urządzeń elektrycznych (schłodzenia silników trakcyjnych) jak również do doprowadzania świeżego powietrza do stanowiska pracy maszynisty.

W wentylatorach występują dwa główne źródła hałasu: hałas aerodynamiczny oraz mechaniczny. Hałas aerodynamiczny powstaje w wentylatorach wskutek odrywania się granicznych strug powietrza od opływanych elementów wirnika i powstających w związku z tym zawirowań (tzw. hałas od zawirowań) oraz zmian rozkładu ciśnienia na powierzchniach łopatek wywołanych periodycznym przecinaniem strugi powietrza przez te łopatki (tzw. hałas od niejednorodności strumienia). Źródłem hałasu mechanicznego są drgania elementów konstrukcyjnych wentylatora; hałas ten jest emitowany przede wszystkim przez obudowę wentylatorów [3].

Wentylatory podczas pracy generują hałas o szerokim widmie i znacznym poziomie, zawierającym się w granicach od 75 do 95 dB.

#### Sprężarki powietrza

W pojazdach szynowych najczęściej stosowane są sprężarki tłokowe, rzadziej śrubowe. Drgania i hałas sprężarek tłokowych jest znacznie większy niż sprężarek śrubowych. Wynika to z zasady działania maszyny tłokowej, w której obieg cieplny powtarza się okresowo. Główną

przyczyną hałasu sprężarek tłokowych jest hałas aerodynamiczny wywołany pulsacją przepływu sprężonego powietrza. Jest ona powodowana okresowymi zmianami prędkości ciśnienia czynnika, przenoszonymi się wzdłuż kanałów (przewodów) ssącego i tłoczącego.

Oprócz hałasu aerodynamicznego w sprężarkach występuje hałas mechaniczny wywołany uderzeniami płytek zaworów o gniazda, drganiami kadłuba sprężarki oraz przewodów ssącego i tłoczącego. Poziom hałasu generowany przez sprężarki tłokowe jest bardzo wysoki i zawiera się w granicach od 90 do 110 dB [3].

## 2.2. Źródła zewnętrzne hałasu

Podczas jazdy pociągu występują jednocześnie źródła wewnętrzne, zewnętrzne oraz hałas aerodynamiczny. Dominującym źródłem hałasu jest współpraca koła z szyną, a przy większych prędkościach hałas aerodynamiczny. Okresowo występują źródła hałasu związane z przejazdem pociągu przez mosty i różnego rodzaju budowle.

### Hałas pochodzący od współpracy koła z szyną

Hałas pochodzący od współpracy koła z szyną jest najbardziej dokuczliwy i odczuwalny podczas jazdy pociągu. Hałas ten można podzielić na [7]:

- hałas pochodzący od toczenia,
- hałas pochodzący od skręcania,
- hałas pochodzący od uderzeń koła o szynę.

Na poziom hałasu toczenia ma wpływ rodzaj szyn, sposób ich łączenia, sposób zamocowania szyn do podkładów, rodzaj i typ podkładów. Występujące okresowe nierówności szyn, powodują ruchy poprzeczne zestawów, które są dodatkowym źródłem hałasu. Hałas od toczenia powstaje również wskutek chropowatości powierzchni tocznych koła i szyny. Koło przy toczeniu odrywa się od szyny (podskakuje) pomiędzy wzniesieniami, wywołując mikro uderzenia, a te z kolei pobudzają do drgań zarówno szyny jak i koła. Powstające drgania rozprzestrzeniają się po całej konstrukcji nadwozia pojazdu i ponadto są one emitowane do otoczenia w postaci fal akustycznych. Drgające ściany pudła wypromieniowują do wnętrza i na zewnątrz hałas od tzw. pierwotnych dźwięków materiałowych. Bezpośredni kontakt pudła ze środowiskiem zewnętrznym stwarza warunki do przenikania do kabiny maszynisty hałasu powietrznego, poprzez ściany, wszelkie nieszczelności oraz otwory w konstrukcji pudła.

Hałas od skręcania powstaje wskutek tarcia obrzeża koła o szynę na łuku i zawiera się w zakresie wysokich częstotliwości słyszalnych jako pischczenie. Natężenie tego hałasu wzrasta wraz ze zmniejszeniem się promieni łuków. Pischczenie na łukach jest wyjątkowo nieprzyjemne ze względu na dwa czynniki:

- odznacza się ono znacznym natężeniem, słyszalnym ponad odgłosem toczenia;
- występowanie w widmie częstotliwości czystych tonów o wysokiej częstotliwości.

Powodem pischczenia na zakrętach jest zjawisko drgań kół, które pobudzane są do drgań poprzez poprzeczne i częściowo wzdłużne ruchy ślizgowe. Z powodu występujących różnic w warunkach przylegania między szyną zewnętrzną a odpowiadającymi im kołami, praktycznie drgania te powstają tylko przy wewnętrznej stronie łuku.

Hałas od uderzeń powstaje, gdy koło natrafia na nieciągłość szyny, co ma miejsce na złączach, zwrotnicach lub

krzyżownicach. Hałas ten występuje głównie na stacjach kolejowych, gdzie występuje duża ilość zwrotnic. Na szlaku ten problem występuje z mniejszą intensywnością ze względu na stosowane coraz częściej szyny bezстыkowe.

### Hałas aerodynamiczny

Hałas pochodzący od tarcia powietrza o pudła pojazdu nazywany jest hałasem aerodynamicznym. Źródłem jego powstawania są drgania powietrza na malej przestrzeni wywołanej przez poruszający się pociąg. W najbliższej odległości od toru zaburzenia powietrza są największe i w miarę zwiększenia odległości od toru jego przemieszczania nie są już czynnikami dominującymi, wywołującymi hałas. Optyw pojazdu powoduje tzw. hałas przepływu. Fizyczną przyczyną hałasu generowanego przez pociąg są okresowe odrywania strumienia na częściach pojazdu i przestrzeniach między wagonowych. Ich wpływ na ogólny hałas pojazdu szynowego zaczyna być istotny dopiero przy prędkościach powyżej 100 km/h. Źródłem pierwotnego hałasu są zawirowania powietrza powstające na wszystkich opływanych przez powietrze elementach pudła pojazdu [6].

Zawirowania powietrza podczas ruchu wzdłuż pojazdu powodują pulsacje ciśnienia, które są źródłem zaburzenia pola akustycznego i dodatkowo pobudzają do drgań ściany pudła pojazdu. Tak więc głównym źródłem hałasu aerodynamicznego są zawirowania powietrza przy powierzchni pudła i wózka.

### Hałas podczas przejazdu pociągu przez mosty i budowle

Hałas pochodzący od konstrukcji mostowych został w ostatnich latach zaliczony do bardziej uciążliwych, chociaż zawiera się on zazwyczaj w zakresie częstotliwości 50-100 Hz, która nie należy do najbardziej dokuczliwych.

Hałas od mostów jest wynikiem drgań ich konstrukcji, wywołanych przez przejeżdżające pociągi. Drgania konstrukcji mostowych mogą być z kolei odbijane ponownie do jadącego pociągu, powodując hałas wtórny. Źródłem tego wtórnego hałasu są szczególnie pionowe powierzchnie stalowych konstrukcji mostu. Poziom hałasu mierzonego w okolicy np. mostów o konstrukcji stalowej jest największy spośród spotykanych wzdłuż linii kolejowej. Hałas wywołany przez przejeżdżający pociąg przenika do budynków położonych blisko mostów czy wiaduktów. W budynkach odległych o 30 m od mostu o konstrukcji stalowej stwierdzono poziom hałasu 90-93 dB. Najgłośniejszy jest pod konstrukcją stalową mostu, gdzie poziom hałasu dochodzi do 110 dB, podczas gdy na moście osiąga 90-100 dB [7].

## 3. Hałas w kabinie maszynisty lokomotyw elektrycznych

Przedmiotem badań były dwie serie lokomotyw ET22 i EU07. Punkty pomiarowe rozmieszczono w kabinie maszynisty A według następującego układu:

- punkt a znajdował się przy fotelu maszynisty,
- punkt b pomiędzy fotelem maszynisty i pomocnika maszynisty,
- punkt c przy fotelu pomocnika maszynisty.

Celem badań była ocena poziomu dźwięku w kabinie maszynisty w zależności od prędkości jazdy. Uzyskane wyniki badań zostały porównane z wartością dopuszczalną określoną w normie [1], która ustala, że na stanowisku



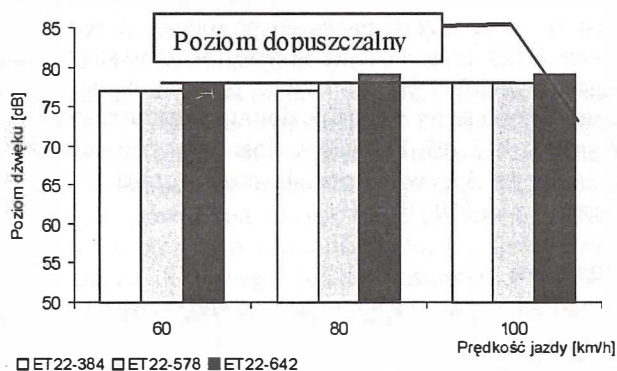
maszynisty i pomocnika dopuszczalny poziom dźwięku nie powinien przekraczać 78 dB niezależnie od prędkości jazdy.

### 3.1. Hałas w kabinie maszynisty lokomotywy ET22

Przedmiotem badań były trzy lokomotywy serii ET22. Badania zostały wykonane podczas jazdy z prędkościami  $V=60$  km/h,  $V=80$  km/h i  $V=100$  km/h podczas wykonywania normalnej pracy pociągowej. W tabeli 1 przedstawiono uzyskane wyniki pomiarów, a na rysunku 1 porównano je z poziomem dopuszczalnym określonym w normie [1].

Poziom dźwięku  $L_{Aeq}$  [dB] w kabinie maszynisty lokomotywy ET22 Tabela 1

| Seria i nr lokomotywy | Prędkość jazdy [km/h] |    |     |
|-----------------------|-----------------------|----|-----|
|                       | 60                    | 80 | 100 |
|                       | Poziom dźwięku        |    |     |
| ET22-384              | 77                    | 77 | 78  |
| ET22-578              | 77                    | 78 | 78  |
| ET22-642              | 78                    | 80 | 79  |



Rys. 1. Poziom hałasu w kabinie maszynisty lokomotyw ET22 podczas jazdy z zadanym poziomem dopuszczalnym

Wykonane badania hałasu lokomotyw ET22 wykazały, że przy prędkości 60 km/h wszystkie przebadane lokomotywy miały akceptowalny przez normę poziom dźwięku. Dla lokomotyw ET22-384 i ET22-578 zmierzony poziom dźwięku był niższy od wartości dopuszczalnej o 1 dB. W przypadku lokomotywy ET22-642 zmierzony poziom dźwięku był na granicy poziomu dopuszczalnego.

Dla prędkości 80 km/h w granicach normy znajdowały się lokomotywy ET22-384 i ET22-578. Natomiast lokomotywa ET22-642 przekroczyła wartość poziomu dopuszczalnego o 2 dB.

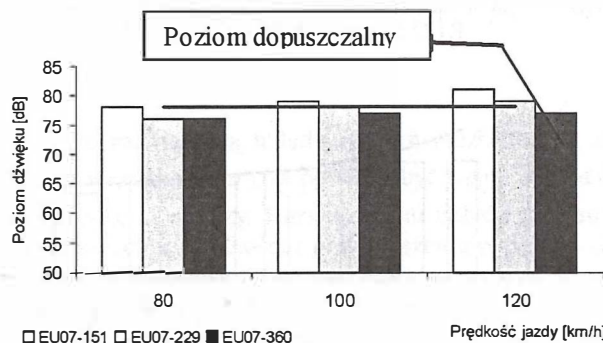
Przy prędkości 100 km/h wartość dopuszczalną o 1 dB przekroczyła tylko lokomotywa ET22-642. Pozostałe lokomotywy nie przekroczyły poziomu 78 dB.

### 3.2. Hałas w kabinie maszynisty lokomotywy EU07

Badaniom poddano trzy lokomotywy serii EU07. Pomiarów wykonano podczas jazdy z prędkościami  $V=80$  km/h,  $V=100$  km/h i  $V=120$  km/h podczas normalnej pracy przewozowej. W tabeli 2 zestawiono wyniki uzyskane z pomiarów, a na rysunku 2 przedstawiono porównanie zmierzonych poziomów dźwięku z wartością dopuszczalną.

Poziom dźwięku  $L_{Aeq}$  [dB] w kabinie maszynisty lokomotywy EU07 Tabela 2

| Seria i nr lokomotywy | Prędkość jazdy [km/h] |     |     |
|-----------------------|-----------------------|-----|-----|
|                       | 80                    | 100 | 120 |
|                       | Poziom dźwięku        |     |     |
| EU07-151              | 78                    | 79  | 81  |
| EU07-229              | 76                    | 78  | 79  |
| EU07-360              | 76                    | 77  | 77  |



Rys. 2. Poziom hałasu w kabinie maszynisty lokomotyw EU07 podczas jazdy z zadanym poziomem dopuszczalnym

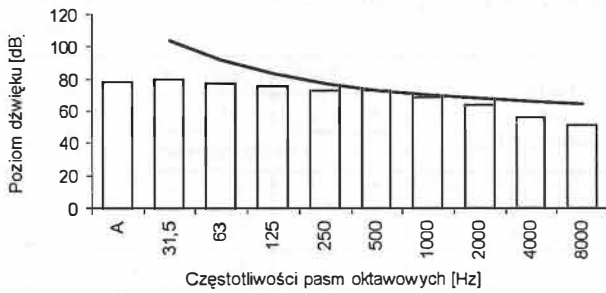
Wszystkie przebadane lokomotywy EU07 przy prędkości 80 km/h mieściły się w zaleceniach normy. Dla lokomotyw EU07-229 i EU07-360 zmierzony poziom dźwięku był niższy od wartości dopuszczalnej o 2 dB. W przypadku lokomotywy EU07-151 zmierzony poziom dźwięku był na granicy dopuszczalnej.

Przy prędkości 100 km/h najniższy poziom dźwięku generowała lokomotywa EU07-360; uzyskane wyniki badań były niższe od poziomu dopuszczalnego o 1 dB. Lokomotywa serii EU07-229 mieściła się w granicach wyznaczonych przez normę. Natomiast EU07-151 przekraczała wartość dopuszczalną o 1 dB.

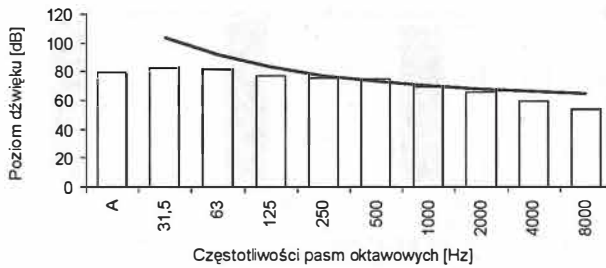
Dla prędkości 120 km/h poziomu dopuszczalnego 78 dB nie przekroczyła tylko lokomotywa EU07-360. Najniekorzystniejsze warunki akustyczne panowały w lokomotywie serii EU07-151; uzyskane poziomy dźwięku były wyższe od poziomu dopuszczalnego o 3 dB.

### 3.3. Analiza częstotliwościowa

W przedziale maszynisty badanych lokomotyw wykonano analizę częstotliwościową w pasmach oktawowych. Uzyskane wyniki badań porównano z krzywymi oceny hałasu N. Krzywe N pozwalają na ocenę negatywnego oddziaływania hałasu na człowieka przy zadanym poziomie dopuszczalnym. Określenie tego pasma jest podstawą do ograniczenia jego uciążliwości. W badaniach przyjęto krzywą N-70 dla poziomu dopuszczalnego 78 dB określonego w normie. Jazdy pomiarowe zrealizowano z prędkościami  $V=60$  km/h i  $V=100$  km/h w lokomotywach ET22. W przypadku lokomotyw EU07 prędkości wynosiły odpowiednio  $V=80$  km/h i  $V=120$  km/h. Na rysunku 3 i 4 porównano uzyskane wyniki w lokomotywach ET22 z poziomem krzywej N-70, a na rysunku 5 i 6 wyniki badań w lokomotywach serii EU07.

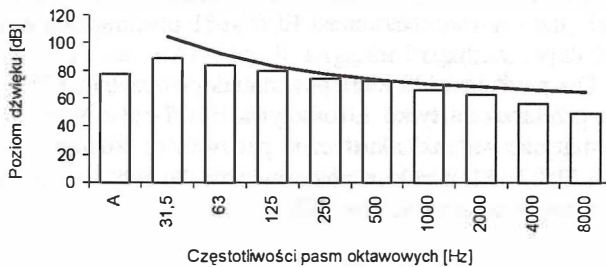


Rys. 3. Widmo hałasu w przedziale maszynisty lokomotywy ET22-642 przy  $V=60$  km/h

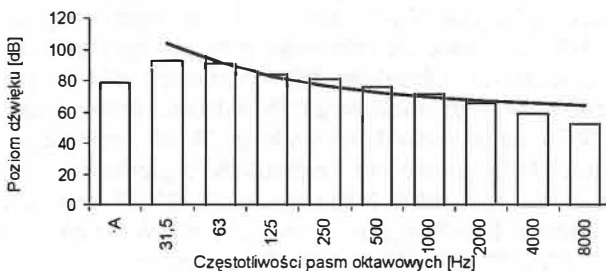


Rys. 4. Widmo hałasu w przedziale maszynisty lokomotywy ET22-642 przy  $V=100$  km/h

We wszystkich badanych lokomotywach ET22 przy prędkości  $V=60$  km/h krzywa N-70 nie została przekroczona w żadnym zakresie częstotliwości. Zmierzone poziomy dźwięku kształtowały się na granicy poziomu wyznaczonego krzywą N przy częstotliwościach 500 Hz i 1000 Hz. W przypadku jazdy z prędkością  $V=100$  km/h krzywa N-70 została przekroczona tylko w lokomotywie ET22-642 przy częstotliwości 500 Hz. Zanotowany poziom dźwięku był wyższy od poziomu dopuszczalnego o 2 dB.



Rys. 5. Widmo hałasu w przedziale maszynisty lokomotywy EU07-151 przy  $V=80$  km/h



Rys. 6. Widmo hałasu w przedziale maszynisty lokomotywy EU07-151 przy  $V=120$  km/h

W lokomotywach EU07 przy prędkości  $V=80$  km/h zmierzone poziomy dźwięku nie przekroczyły krzywej N-70 w żadnym zakresie częstotliwości. Podczas jazdy z prędkością  $V=120$  km/h krzywa N została przekroczona w zakresie częstotliwości 125÷1000 Hz. Największe przekroczenie krzywej N-70 zostało zanotowane przy częstotliwości 500 Hz. Zmierzone w tym paśmie częstotliwości poziomy dźwięku były wyższe od poziomu krzywej N o 5 dB.

#### 4. Podsumowanie

W pracy przedstawiono wyniki pomiarów hałasu w kabinie maszynisty lokomotyw elektrycznych serii ET22 i EU07 podczas jazdy. Uzyskane wyniki badań wskazują, że w kabinach maszynisty badanych lokomotyw wartości poziomu dźwięku nie przekraczają wartości dopuszczalnej określonej przez normę [1]. Poziom 78 dB został przekroczony tylko w lokomotywie ET22-642 przy prędkości 80 km/h i w lokomotywie EU07-151 przy prędkości  $V=120$  km/h. Uzyskane wyniki badań są wyższe od poziomu dopuszczalnego o 3 dB.

W przypadku analizy częstotliwościowej przy prędkościach do  $V=100$  km/h w badanych lokomotywach obu serii przekroczenie krzywej N nie występuje w żadnym zakresie częstotliwości. Wzrost prędkości powoduje, że w lokomotywach ET22 przekroczenie krzywej N-70 występuje przy częstotliwości 500 Hz. Zmierzone poziomy dźwięku w tej częstotliwości są wyższe od poziomu wyznaczonego krzywą N średnio o 2 dB. Pomiary w lokomotywach serii EU07 wykazały, że krzywa N została przekroczona w zakresie częstotliwości 250÷1000 Hz.

#### Literatura

- [1] PN-92/K-11000 Tabor kolejowy. Hałas. Ogólne wymagania i badania.
- [2] PNN-01307 Hałas. Dopuszczalne wartości hałasu w środowisku pracy. Wymagania dotyczące wykonywania pomiarów.
- [3] Łączkowski R.; Wibroakustyka maszyn i urządzeń. WNT, Warszawa 1983.
- [4] Puzyna Cz., Zwalczenie hałasu w przemyśle. WNT, Warszawa, 1974 r.
- [5] Zalewski R., Obecne zagrożenia środowiska naturalnego przez kolej i sposoby zaradcze. Drogi Kolejowe, Nr 8, 1990 r.
- [6] OB-227. Ocena hałasu i drgań w pojazdach szynowych w aspekcie oddziaływania na człowieka. Praca zbiorowa ÖBRPS Poznań 1982 r.
- [7] Rabsztyń M., Hałas staje się głównym problemem ochrony środowiska. TTS Nr 11-12, 1995 r.