



Zjawisko generowania hałasu przez ruch pojazdów szynowych jest zagadnieniem niezwykle złożonym, ponieważ hałas ten jest emitowany przez wiele jednostkowych źródeł. Na jego wielkość wpływają m.in. prędkość z którą poruszają się pociągi, ich długość, stan torowiska czy lokalizacja torowiska względem istniejącego terenu.

Oceny wielkości poziomego hałasu emitowanego do środowiska można dokonać za pomocą specjalistycznych pomiarów lub obliczeń równoważnego poziomu dźwięku.

W tym referacie omówiono referencyjne metody pomiarów równoważnego poziomu dźwięku określone w rozporządzeniu Ministra Środowiska z 2 października 2007 r. w sprawie wymagań w zakresie prowadzenia pomiarów poziomów w środowisku substancji lub energii przez zarządzającego drogą, linią kolejową linią tramwajową, lotniskiem, portem (Dz.U. Nr 192, poz. 1392). W ramach pracy dokonano również porównania wyników pomiarów i obliczeń wykonanych za pomocą trzech różnych metod referencyjnych. W tym celu wykonano pomiary oraz obliczenia równoważnego poziomu dźwięku dla wybranej linii kolejowej. Następnie porównano wyniki pomiarów w celu określenia zgodności wyników otrzymanych przy pomocy różnych metod. (Referat „Pomiary i analizy poziomu hałasu linii kolejowych – wybrane problemy” prezentowany był podczas III seminarium „Wibroszyn - 2008”.)

Hałas kolejowy

Hałas emitowany do środowiska powoduje w zdecydowanej większości przypadków powstawanie dokuczliwości przeszkadzających w codziennym funkcjonowaniu. Hałas generowany przez ruch pociągów jest zjawiskiem akustycznym, które również powoduje pewne niedogodności. Jedną z miar dokuczliwości hałasu na człowieka jest równoważny poziom dźwięku. Zgodnie z Polską Normą [6] równoważny poziom

dźwięku określony jest jako dziesięciokrotny logarytm przy podstawie 10 stosunku kwadratu wartości skutecznej ciśnienia akustycznego, w podanym przedziale czasu, do kwadratu ciśnienia akustycznego odniesienia, przy czym ciśnienie akustyczne jest wyznaczane z użyciem znormalizowanej częstotliwościowej charakterystyki korekcyjnej. Równoważny poziom dźwięku A jest opisywany wzorem:

$$L_{AeqT} = 10 \log \left[\frac{1}{T} \int_T p_A^2(t) / p_0^2 dt \right] dB$$

gdzie: $P_A(t)$ - chwilowe ciśnienie akustyczne, zmodyfikowane charakterystyką częstotliwościową A w czasie T;
 P_0 - akustyczne ciśnienie odniesienia równe 20 μ Pa.

Hałas kolejowy generowany jest poprzez wiele pojedynczych źródeł. Poniżej opisano podstawowe rodzaje hałasu pochodzącego od ruchu pojazdów szynowych wraz z ogólnym mechanizmem ich powstawania [8].

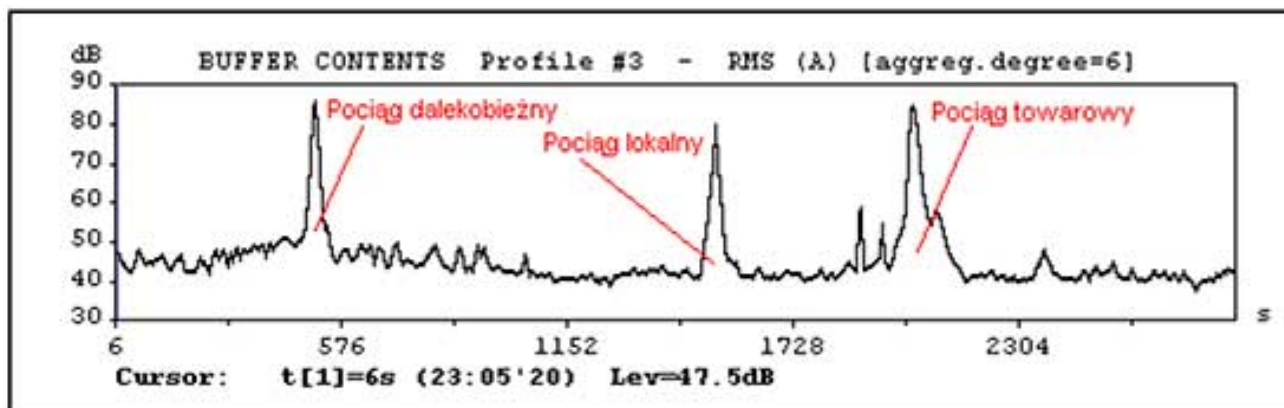
Ruch pociągu jest przyczyną drgań zarówno szyny i całego toru, jak i wagonów, w tym w szczególności powierzchni bocznych kół. Drgania te są źródłem hałasu, który nosi nazwę hałasu toczenia [9],[10]. Jest on tym większy im większe zużycie faliste toru. Przy ruchu pociągów z prędkością mniejszą niż 250 km/h ten rodzaj hałasu jest dominujący. Przy wyższych prędkościach (powyżej 250 km/h) dominującym staje się natomiast hałas aerodynamiczny [11]. Jego emisja jest związana z nieregularnym opływem powietrza podczas ruchu pociągu. Strumień powietrza ulega zaburzeniu, co prowadzi do generowania dodatkowego hałasu. Ten rodzaj hałasu jest szczególnie znaczący w przypadkach pociągów, których wagony utrzymywane są w powietrzu poprzez lewitację magnetyczną.

Kolejnym rodzajem hałasu generowanego przez poruszające się pociągi jest hałas powstający w skutek ruszania i zatrzymywania się pociągów. Ma on jednak mniejszy wpływ na klimat akustyczny w sąsiedztwie linii kolejowych od dwóch pierwszych przypadków.

W tym miejscu należy zaznaczyć, iż na poziom hałasu generowanego przez pojazdy szynowe ma również wpływ stan techniczny taboru i torowisk. Samo zastosowanie

połączeń bezстыkowych szyn kolejowych również może znacznie ograniczyć emisję hałasu.

Poniżej na rys. 1 przedstawiono przykładowe zmiany poziomu dźwięku podczas przejazdu pociągów różnych rodzajów (pociąg pasażerski dalekobieżny, pociąg pasażerski lokalny oraz pociąg towarowy).



Rys. 1. Przykładowe zmiany poziomu dźwięku w czasie przejazdu pociągu z wyszczególnionymi rodzajami pojazdów szynowych

Analizując powyższy wykres należy stwierdzić, iż poziom dźwięku generowany przez różne rodzaje pociągów nie różni się od siebie znacząco. Hałas generowany przez pociąg pasażerski lokalny osiąga nieco mniejszy poziom od pozostałych dwóch przypadków. Najdłużej natomiast trwa zdarzenie akustyczne związane z przejazdem pociągu towarowego. Wynika to z większej długości pociągu oraz nieco mniejszej prędkości średniej z jaką poruszają się pociągi towarowe. Parametry te mają wpływ na poziom dźwięku emitowanego do środowiska.

Podstawy prawne wykonywania pomiarów hałasu

Referencyjne metody pomiaru równoważnego poziomu dźwięku pochodzącego od ruchu pojazdów szynowych zostały określone w rozporządzeniu Ministra Środowiska z 2 października 2007 r. w sprawie wymagań w zakresie prowadzenia pomiarów poziomów w środowisku substancji lub energii przez zarządzającego drogą, linią kolejową, linią tramwajową, lotniskiem, portem [3]. Rozporządzenie to określa wymagania w zakresie wykonywania pomiarów w środowisku, do których są obowiązani m.in. zarządzający liniami kolejowymi. W załączniku Nr 2 tego dokumentu określono cztery metody referencyjne, za pomocą których można wykonywać okresowe pomiary hałasu w środowisku. Są to:

- metoda pośrednia pomiaru pojedynczych zdarzeń akustycznych,
- metoda bezpośrednich pomiarów hałasu z wykorzystaniem próbkowania,
- metoda bezpośrednia ciągłych pomiarów w ograniczonym czasie,
- metody obliczeniowe oparte o modele rozprzestrzeniania się dźwięku w

Pomiary i analizy hałasu kolejowego - cz. I

Utworzono: wtorek, 28, październik 2008 10:35 dr inż. Janusz Bohatkiewicz, mgr inż. Maciej Hałucha

środowisku.

Do pomiarów hałasu w sąsiedztwie linii kolejowych można zgodnie z rozporządzeniem stosować wszystkie metody wymienione powyżej, z wyjątkiem metody bezpośrednich pomiarów hałasu z wykorzystaniem próbkowania. (Opis pozostałych trzech metod zamieszczono w rozdziale 4 niniejszego referatu.)

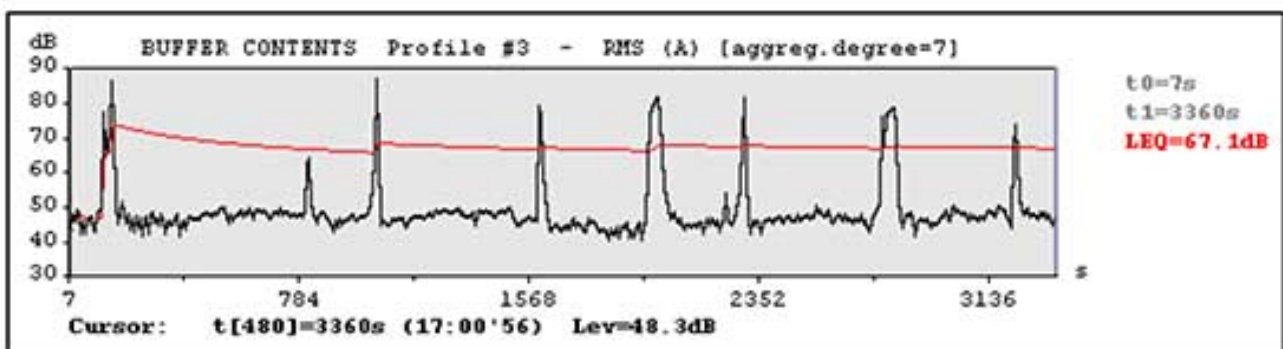
Należy wspomnieć, iż rozporządzenie Ministra Środowiska [3] nie określa metod wyznaczania niepewności pomiarów $\Delta L_{Acq,T}$. Każde laboratorium wykonujące pomiary hałasu szacuje niepewność stosując własne procedury. Jest z tym związany problem uzyskiwania rozbieżnych wartości niepewności pomiarów przez różne laboratoria. Należy zatem dążyć do ustalenia jednolitej procedury określania niepewności wyników pomiarów hałasu.

Należy również zaznaczyć, iż zgodnie z art. 147a ustawy Prawo ochrony środowiska [1] „Prowadzący instalację oraz użytkownik urządzenia są obowiązani zapewnić wykonanie pomiarów wielkości emisji lub innych warunków korzystania ze środowiska przez laboratorium posiadające certyfikat wdrożonego systemu jakości lub certyfikat akredytacji w rozumieniu ustawy z dnia 30 sierpnia 2002 r. o systemie oceny zgodności (Dz.U. Nr 204, poz. 2087) (..)”. Zapis ten dotyczy jedynie pomiarów o charakterze okresowym. Nie ma natomiast wymagania, aby pomiary hałasu o innym charakterze wykonywały laboratoria akredytowane.

Referencyjne metody pomiaru hałasu dla linii kolejowych

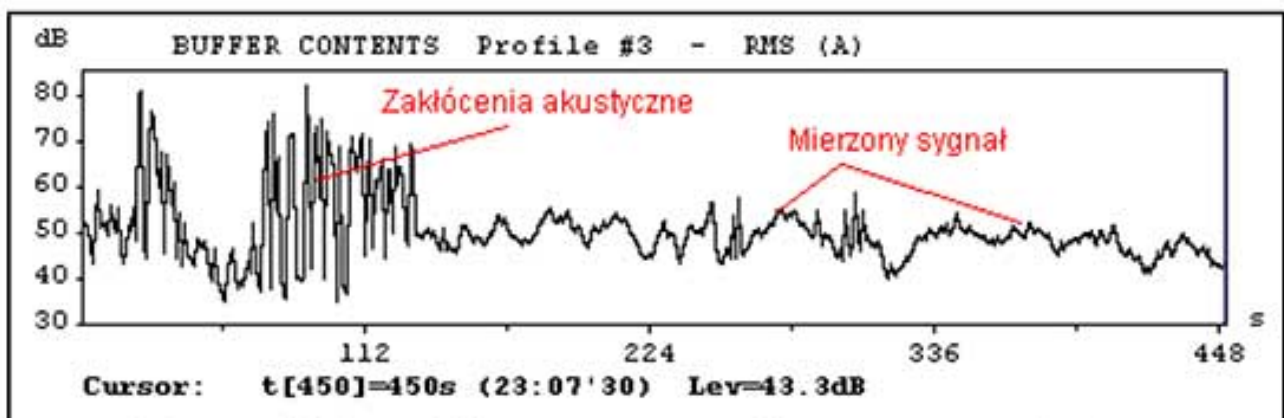
Metoda bezpośrednia ciągłych pomiarów w ograniczonym czasie

Zgodnie z rozporządzeniem Ministra Środowiska [3] metoda bezpośrednia ciągłych pomiarów w ograniczonym czasie stosowana jest do nieprzerwanych wielogodzinnych lub wielodniowych obserwacji hałasu w danym punkcie. Przy pomocy tej metody wartość równoważnego poziomu dźwięku wyznaczana jest poprzez ciągłą obserwację zmiany poziomu dźwięku w czasie. Poniżej na rys. 2 przedstawiono przykładowy wykres zmian poziomu dźwięku w czasie wraz wyszczególnieniem zmian równoważnego poziomu dźwięku.



Rys. 2. Przykładowe zmiany poziomu dźwięku w czasie wraz z zaznaczonym przebiegiem poziomu równoważnego

Z pełnego okresu obserwacji należy w tym przypadku wyeliminować te przedziały czasu, dla których nie zostały spełnione wymagania określone w rozporządzeniu [3] (związane m.in. z warunkami meteorologicznymi). Dla odcinków tych równoważny poziom dźwięku wyznacza się w oparciu o metody obliczeniowe. Należy również zwrócić uwagę, iż niekiedy dużym problemem mogą okazać się zakłócenia akustyczne, nie będące przedmiotem pomiarów, a których poziom niejednokrotnie jest dużo wyższy od mierzonego sygnału. Jeżeli przedział czasu, w którym dominującym źródłem dźwięku są zakłócenia nie zostanie usunięty z zakresu obserwacji wyniki pomiarów mogą znacznie odbiegać od rzeczywistości. Poniżej na rys. 3 przedstawiono przykładowy wykres zmian poziomu dźwięku w czasie, który w pierwszym okresie zdeterminowany był przez zakłócenia akustyczne. Pluszem tej metody jest natomiast fakt, iż można ją stosować do pomiarów prawie każdego rodzaju oddziaływania akustycznego w środowisku.



Rys. 3. Przykładowy widok przebiegu czasowego mierzonego sygnału akustycznego wraz z zaznaczonymi zakłóceniami akustycznymi

Metoda pośrednia pomiaru pojedynczych zdarzeń akustycznych

W przypadku stosowania tej metody można wyróżnić dwa główne procesy:

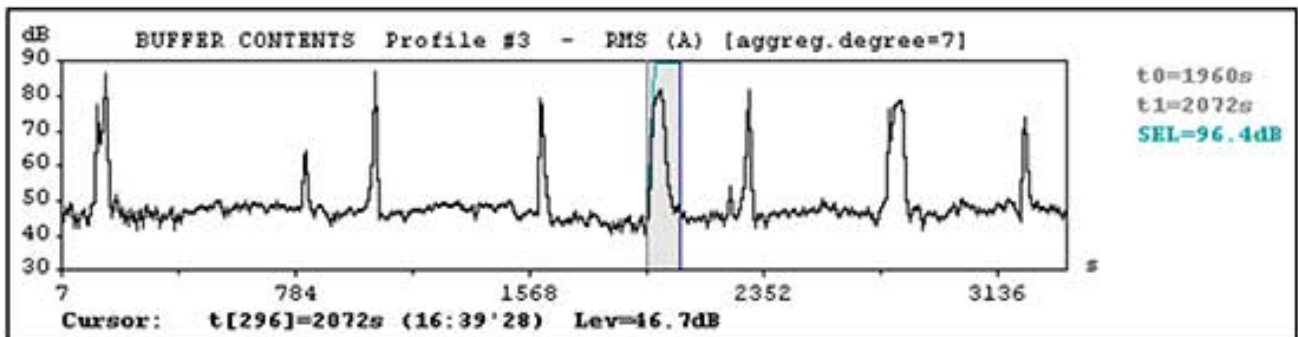
- pomiar ekspozycyjnych poziomów dźwięku w terenie,
- obliczenie równoważnego poziomu dźwięku na podstawie wyników pomiarów ekspozycyjnych w warunkach laboratoryjnych.

Dla każdego pojedynczego zdarzenia akustycznego należy zmierzyć poziom ekspozycyjny (rys. 4). Pojedyncze zdarzenia akustyczne należy następnie połączyć

Pomiary i analizy hałasu kolejowego - cz. I

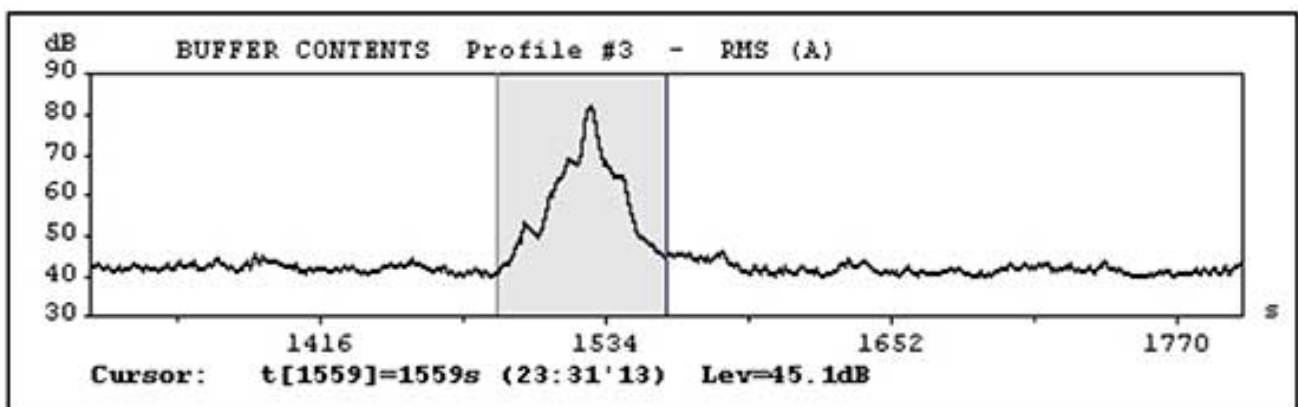
Utworzono: wtorek, 28, październik 2008 10:35 dr inż. Janusz Bohatkiewicz, mgr inż. Maciej Hałucha

w klasy, dla których wyznacza się średni poziom ekspozycyjny wraz z odchyleniem standardowym.



Rys. 4. Przykładowa zmiana poziomu dźwięku w czasie wraz z obliczonym poziomem ekspozycyjnym dla pojedynczego zdarzenia akustycznego

Czas pomiaru poziomu ekspozycyjnego L_{AE} dla każdego pojedynczego zdarzenia akustycznego nie może być krótszy niż czas trwania zjawiska, co przedstawiono poniżej na rys. 5.



Rys. 5. Przykładowa zmiana poziomu dźwięku w czasie wraz z zaznaczonymi granicami pojedynczego zdarzenia akustycznego

Zgodnie z rozporządzeniem Ministra Środowiska [3] w pomiarach hałasu dla linii kolejowych określa się 3 klasy pojedynczych zdarzeń akustycznych, które polegają na przejeździe przed punktem pomiarowym:

- pociągu pasażerskiego dalekobieżnego (takiego jak pociąg pospieszny, Eurocity, Intercity),
- pociągu pasażerskiego lokalnego,

- pociągu towarowego.

Dla każdej klasy pojedynczych zdarzeń akustycznych należy obliczyć średnią wartość poziomu ekspozycyjnego według następującego wzoru:

$$L_{AEk} = 10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{0.1 L_{AEki}} \right]$$

gdzie:

n - liczebność klasy, to jest liczba pomiarów pojedynczych zdarzeń akustycznych k-tej klasy,

L_{AEk} - średni dla k-tej klasy poziom ekspozycyjny [dB],

L_{AEki} - zmierzona wartość poziomu ekspozycyjnego zakwalifikowanego do k-tej klasy

Dla każdej klasy pojedynczych zdarzeń akustycznych należy następnie określić odchylenie standardowe według poniższego wzoru:

$$\sigma_{L_{AEk}} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (L_{AEki} - L_{AEk})^2}$$

Ostateczną wartość równoważnego poziomu dźwięku oblicza się z następującej zależności:

$$L_{Aeq} = 10 \log \left[\frac{1}{T} \sum_{k=1}^m N_k 10^{0.1 L_{AEk}} \right]$$

gdzie:

T - czas odniesienia [s],

N_k - liczba pojedynczych zdarzeń akustycznych k-tej klasy zaobserwowana w czasie odniesienia T,

L_{AEk} - średni dla k-tej klasy poziom ekspozycyjny [dB],

m - liczba pojedynczych zdarzeń akustycznych

Metody obliczeniowe

Zgodnie z rozporządzeniem Ministra Środowiska [3] metody obliczeniowe służące do wyznaczania równoważnego poziomu dźwięku pochodzącego od linii kolejowych powinny być zgodne z Polską Normą PN-ISO 9613-2:2002 [7]. Z uwagi na brak polskiej metody obliczeniowej, która oparta byłaby na krajowych standardach, każdorazowo przy wykonywaniu obliczeń za pomocą innych dostępnych metod należy sprawdzać model obliczeniowy z wynikami pomiarów wykonanych w sąsiedztwie analizowanego obiektu.

dr inż. Janusz Bohatkiewicz

mgr inż. Maciej Hałucha

Biuro Ekspertyz i Projektów Budownictwa Komunikacyjnego „EKKOM” Sp. z o.o.

Literatura:

[1] Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. - Prawo ochrony środowiska (Dz.U. Nr 129, poz. 902, z późniejszymi zmianami).

[2] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 14 czerwca 2007 r. w sprawie dopuszczalnych poziomów hałasu w środowisku (Dz.U. Nr 120, poz. 826).

[3] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 2 października 2007 r. w sprawie wymagań w zakresie prowadzenia pomiarów poziomów w środowisku substancji lub energii przez zarządzającego drogą, linią kolejową, linią tramwajową, lotniskiem, portem (Dz.U. Nr 192. poz. 1392).

[4] Rozporządzenie Ministra Gospodarki i Pracy z dnia 30 marca 2005 r. w sprawie

rodzajów przyrządów pomiarowych podlegających prawnej kontroli metrologicznej oraz zakresu tej kontroli (Dz.U. Nr 74, poz. 653).

[5] Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 27 grudnia 2007 r. w sprawie rodzajów przyrządów pomiarowych podlegających prawnej kontroli metrologicznej oraz zakresu tej kontroli (Dz.U. Nr 3, poz. 13).

[6] Polska Norma PN-ISO 1996-1:2006 Akustyka. Opis, pomiary i ocena hałasu środowiskowego. Część 1.- Wielkości podstawowe i procedury oceny.

[I] Polska Norma PN-ISO 9613-2:2002. Akustyka. Tłumienie dźwięku podczas propagacji w przestrzeni otwartej. Ogólna metoda obliczania.

[8] R. Makarewicz: Hałas w środowisku. Ośrodek Wydawnictw Naukowych, Poznań 1996.

[9] U. Kurze et al., Acustica, 1990.

[10] D. Thompson, J. Sound Vibr., 1993.

[11] W. King, Inter-Noise, Yokohama 1994.