

Wskaźnikowa metoda oceny oddziaływań akustycznych od pojazdów kolejowych

Krzysztof POLAK¹

Streszczenie

W artykule podjęto próbę rozwiązania problemu dotyczącego interpretacji wyników opierających się na porównaniu wartości zmierzonych do wartości dopuszczalnych. W przypadku zaobserwowania przekroczeń, u osób będących odbiorcą analiz akustycznych (głównie osoby niespecjalistyczne), bardzo często pojawia się niepewność związana z interpretacją wyników. Obecnie brak jest jednoznacznego sposobu określania w przypadku hałasu, przedziałów wartości akceptowalnych, niepokojących, czy niedopuszczalnych. Zaproponowano autorską metodykę wskaźnikową, umożliwiającą w jasny i łatwy sposób, interpretację uzyskanych wyników. Zaproponowany wskaźnik obciążenia hałasem (NLF – ang. *Noise Load Factor*), oparty na mierzonych wielkościach fizycznych, umożliwia przeprowadzenie szerszej oceny uciążliwości akustycznej pochodzącej od pojazdów kolejowych.

Słowa kluczowe: hałas, ocena oddziaływań na środowisko, oddziaływania akustyczne

1. Wstęp

Oddziaływania akustyczne generowane przez środki transportu stanowią znaczący problem dla bliższego i dalszego otoczenia. Na stopień uciążliwości akustycznej transportu kolejowego ma wpływ wiele czynników. Do najważniejszych należy zaliczyć stan techniczny taboru oraz infrastruktury kolejowej, natężenie ruchu oraz ukształtowanie terenu. Obecnie duży wpływ na klimat akustyczny w otoczeniu linii ma również zbliżanie się zabudowy mieszkaniowej (chronionej akustycznie) do terenów kolejowych. Dodatkowo, rosnące natężenie ruchu oraz wahania rozkładu dobowego tego natężenia, spowodowały rozszerzenie godzin obowiązywania szczytów komunikacyjnych [1].

Zmiany w klimacie akustycznym może powodować również budowa i modernizacja infrastruktury kolejowej. W większości przypadków takie zmiany wymagają przeprowadzenia oceny oddziaływania na środowisko przez sporządzenie karty informacyjnej przedsięwzięcia lub raportu o jego oddziaływaniu na środowisko. Dokumenty te, oprócz charakterystyki całego przedsięwzięcia, powinny zawierać m.in. ocenę wpływu na obszary chronione akustycznie. Ocenę akustyczną, zgodnie z wymaganiami określonymi w przepisach krajowych, należy przeprowadzić

na podstawie pomiarów terenowych, na podstawie których prowadzone są dalsze analizy. W większości przypadków te analizy ograniczają się jedynie do wskazania uzyskanych przekroczeń względem wartości dopuszczalnych. Nie ma jednoznacznej metodyki interpretacji wyników, przez wprowadzenie systemu oceny (bardzo dobry, akceptowalny, niepokojący, niedopuszczalny), który określałby skalę oddziaływania hałasu na obszary chronione. Dodatkowo, analiza dostępnej literatury krajowej oraz zagranicznej nie wykazała podobnego podejścia do interpretacji uzyskanych wyników sygnałów akustycznych pochodzących od pojazdów kolejowych.

W niniejszym artykule podjęto próbę wskazania nowych kryteriów oceny hałasu generowanego przez pojazdy kolejowe oraz określenia odpowiedniej skali ocen oddziaływań akustycznych. Przedstawiono także główne założenia do wskaźnika obciążenia hałasem, interpretacji wyników, jak również dokonano obliczeń na podstawie uzyskanych wartości równoważnego poziomu dźwięku A.

2. Ocena uciążliwości akustycznej w Polsce

Uciążliwość akustyczna z transportu kolejowego w Polsce jest określana na podstawie dopuszczalnych

¹ Dr; Instytut Kolejnictwa, Zakład Dróg Kolejowych i Przewozów; e-mail: kpolak@ikolej.pl.

Tablica 1

Wartości dopuszczalne poziomu hałasu w środowisku dla linii kolejowych [2]

Lp.	Przeznaczenie terenu	Dopuszczalny poziom hałasu [dB]	
		Drogi lub linie kolejowe	
		LAeqD pora dnia <i>t</i> = 16 h	LAeqN pora nocy <i>t</i> = 8 h
1.	a) obszary A ochrony uzdrowiskowej b) tereny szpitali poza miastem	50	45
2.	a) tereny zabudowy mieszkaniowej jednorodzinnej b) tereny zabudowy związanej ze stałym lub czasowym pobytem dzieci i młodzieży c) tereny domów opieki d) tereny szpitali w miastach	61	56
3.	a) tereny zabudowy mieszkaniowej wielorodzinnej i zamieszkania zbiorowego b) tereny zabudowy zagrodowej c) tereny rekreacyjno-wypoczynkowe d) tereny mieszkaniowo-usługowe	65	56
4.	Tereny w strefie śródmiejskiej miast powyżej 100 tys. mieszkańców	68	60

poziomów hałasu w środowisku. Wartości te zostały wskazane w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 14 czerwca 2007 r. w sprawie dopuszczalnych poziomów hałasu w środowisku (tekst jednolity Dz.U. 2014 poz. 112) [2]. Dopuszczalne poziomy hałasu zostały określone dla następujących rodzajów terenów przeznaczonych:

- pod zabudowę mieszkaniową,
- pod szpitale i domy opieki społecznej,
- pod budynki związane ze stałym lub czasowym pobytem dzieci i młodzieży,
- na cele uzdrowiskowe,
- na cele rekreacyjno-wypoczynkowe,
- na cele mieszkaniowo-usługowe.

Wymienione rodzaje terenów zostały podzielone na 4 grupy obszarów o podobnym przeznaczeniu, dla których określono zróżnicowane dopuszczalne poziomy hałasu (tabl. 1).

Klasyfikacja obszarów do terenów określonych w tablicy 1 odbywa się na podstawie przeznaczenia terenu, zdefiniowanego w miejscowym planie zagospodarowania przestrzennego. W przypadku braku takiego planu, klasyfikację przeprowadza organ właściwy na podstawie faktycznego zagospodarowania i wykorzystywania tego oraz sąsiednich terenów [3].

Ostatnia grupa terenów umożliwia utworzenie tzw. strefy śródmiejskiej, którą stanowi teren zwartej zabudowy mieszkaniowej z koncentracją obiektów administracyjnych, handlowych oraz usługowych, w miastach zamieszkałych przez więcej niż 100 tys. mieszkańców. W tej strefie obowiązują znacznie wyższe dopuszczalne poziomy hałasu niż w pozostałych grupach.

3. Wskaźnikowa ocena oddziaływań akustycznych

Zdaniem autora, ocena oddziaływań akustycznych generowanych przez transport kolejowy, oparta jedynie na analizie przekroczeń wartości dopuszczalnych, jest niewystarczająca. Dokładniejszą weryfikację oddziaływań akustycznych umożliwiała metoda wskaźnikowa [4]. W związku z brakiem szczegółowej interpretacji wyników (przekroczeń) autor podjął próbę opracowania wskaźnika opartego na mierzonych wielkościach fizycznych i uwzględniającego bardziej przejrzystą interpretację oraz prezentację wyników.

W celu przeprowadzenia szerszej oceny uciążliwości akustycznej pochodzącej od pojazdów kolejowych zbudowano autorski wskaźnik obciążenia hałasem (NLF – ang. *Noise Load Factor*), który określa zależność:

$$NLF = 20 \log \frac{L_{Aeqzm}}{L_{Aeqdop}}, [\text{dB}] \quad (1)$$

gdzie:

- L_{Aeqzm} – zmierzony poziom dźwięku A,
- L_{Aeqdop} – dopuszczalny poziom dźwięku A.

W celu oceny hałasu generowanego przez pojazdy kolejowe przyjęto odpowiednią skalę jego wartości. W tablicy 2 przedstawiono system oceny dla wartości normatywnych określających skalę oddziaływania hałasu na obszary chronione akustycznie. Wartości wskaźnika obciążenia hałasu określono na podstawie percepcji hałasu przez narząd słuchu człowieka, który nie jest w stanie odróżnić zmian poziomów ciśnienia akustycznego w zakresie od 0,5 do 2 dB [5] /3 dB [6].

Tablica 2
Wartości wskaźnika obciążenia hałasem (NLF)

Poziom wskaźnika	Wartość wskaźnika NLF	Poziom dźwięku względem poziomów dopuszczalnych (PD) [dB]
Bardzo dobry	$NLF \leq -0,42$	$PD < 3$
Akceptowalny	$-0,42 < NLF \leq 0$	$3 < PD \leq 0$
Niepokojący	$0 < NLF \leq 0,42$	$0 < PD \leq 3$
Niedopuszczalny	$NLF > 0,42$	$PD > 3$

[Opracowanie własne].

Określonym wartościom wskaźnika NLF przypisano odpowiednie zestawy map kolorów, aby umożliwiały one jednoznaczną interpretację wyników. Kolorem ciemnozielonym oznaczono poziomy bardzo dobre (brak przekroczeń – zmierzone wartości są mniejsze minimum o 3 dB względem poziomów dopuszczalnych), kolorem jasnozielonym zaś wartości akceptowalne (wartość wskaźnika od $-0,42$ do 0), tj. wartości zmierzone mieszczą się w zakresie od 0 dB do 3 dB poniżej poziomów dopuszczalnych (brak przekroczeń). Kolorem pomarańczowym określono wartości niepokojące (przekroczenia względem poziomów normatywnych do 3 dB), natomiast kolorem czerwonym wartości wskaźnika (powyżej $0,42$) określają przekroczenia powyżej 3 dB.

4. Weryfikacja wskaźnika z wykorzystaniem rzeczywistych wyników pomiaru

Weryfikację autorskiego wskaźnika obciążenia hałasem przeprowadzono na podstawie uzyskanych wyników równoważnego poziomu dźwięku A (L_{Aeq}) dla pojazdów kolejowych poruszających się z prędkością 200 km/h. Obiektem badań było Pendolino, pojazd firmy Alstom typ ETR610 seria ED250 (rys. 1). W czasie prowadzonych badań eksperymentalnych dokonano pomiaru równoważnego poziomu dźwięku pochodzącego od pojazdów kolejowych zwiększonych prędkości, poruszających się po odcinku prostym oraz w łuku. Pomiaru wykonano w czterech odległościach (5 m, 10 m, 20 m, 40 m) od linii kolejowej, aby umożliwić najdokładniejsze rozpoznanie sygnatury akustycznej badanego obiektu. Pomiaru sygnałów akustycznych zostały przeprowadzone na linii kolejowej nr 4 Grodzisk Mazowiecki – Zawiercie, odcinek Grodzisk Mazowiecki – Idzikowice, w dwóch lokalizacjach:

- odcinek prosty – około km $21+300$ (miasto Szeligi ul. Dojazdowa,
- łuk – około km $18+600$ (miasto Świnice ul. Długa).



Rys. 1. Obiekt badań pojazd firmy Alstom typ ETR610 seria ED250 – Pendolino [fot. K. Polak]

Szczegółowy opis metodyki przeprowadzonych pomiarów zawarto m.in. w pracach [7, 8].

Do weryfikacji wskaźnika NLF wykorzystano wyniki uzyskane w punkcie pomiarowym, zlokalizowanym w odległości 40 m na wysokości 4 m nad poziomem główki szyny, aby jak najlepiej odwzorować ocenę oddziaływań dla obszarów chronionych akustycznie. Te założenia wynikają z faktu, iż na terenie zabudowanym punkty pomiarowe są najczęściej lokalizowane na wysokości 4 m ($\pm 0,2$ m) nad powierzchnią terenu, co wynika z zapisów rozporządzenia [9], a także wymagań ustawy [10], która nakazuje lokalizowanie budynków w odległości nie mniejszej niż 20 m od osi skrajnego toru. Obliczenia dla wskaźnika obciążenia hałasem przeprowadzono dla obszarów przeznaczonych pod zabudowę mieszkaniową wielorodzinną, dla których zgodnie z rozporządzeniem [2] wartości normatywne zostały określone na poziomie 65 dB dla pory dnia ($8:00 - 16:00$).

W tablicy 3 przedstawiono 5 wybranych wyników dla 20 sekundowych przejazdów badanych pojazdów poruszających się z prędkością 200 km/h po odcinku prostym oraz łuku. Jak wspomniano we wcześniejszej części artykułu, określonym wartościom wskaźnika NLF przypisano odpowiednie zestawy map kolorów:

- ciemnozielony – poziomy bardzo dobre, zmierzone wartości są mniejsze minimum o 3 dB względem poziomów dopuszczalnych,
- jasnozielony – wartości akceptowalne, wartości zmierzone mieszczą się w zakresie od 0 dB do 3 dB poniżej poziomów dopuszczalnych,
- pomarańczowy – wartości niepokojące, przekroczenia względem poziomów normatywnych do 3 dB,
- czerwony – wartości niedopuszczalne, przekroczenia powyżej 3 dB względem poziomów normatywnych.

Tablica 3

Wskaźnik obciążenia hałasem na odcinku prostym dla wybranych przejazdów (Pn) dla odległości 40 m

Czas przejazdu [s]	Wskaźnik obciążenia hałasem dla odległości 40 m, $h = 4$ m									
	Odcinek prosty					Łuk				
	P1	P3	P4	P8	P9	P1	P3	P4	P8	P9
1	-2,42	-2,74	-2,97	-3,43	-3,31	-1,48	-1,36	-0,68	-1,42	-1,42
2	-2,44	-2,16	-3,02	-3,21	-3,31	-1,34	-1,28	-0,68	-1,20	-1,40
3	-2,30	-1,63	-2,33	-2,49	-2,74	-1,13	-1,20	-0,62	-0,87	-0,96
4	-1,76	-1,71	-1,82	-2,23	-1,90	-0,74	-0,81	-0,44	-0,45	-0,62
5	-1,48	-1,58	-1,14	-1,79	-1,63	-0,57	-0,55	-0,22	-0,27	-0,20
6	-0,83	-1,20	-0,48	-0,84	-1,05	-0,23	-0,23	0,07	-0,04	0,00
7	0,30	-0,71	0,31	-0,07	-0,40	0,24	0,05	0,30	0,44	0,38
8	1,67	0,15	1,06	1,07	0,85	0,95	0,74	1,21	1,34	1,18
9	2,32	2,17	2,20	2,02	2,64	2,05	1,86	2,19	2,24	2,15
10	2,36	2,26	2,32	2,30	2,70	2,38	2,34	2,42	2,38	2,34
11	2,35	2,25	2,34	2,30	2,65	2,39	2,35	2,42	2,38	2,39
12	1,98	2,02	2,05	2,19	2,24	2,31	2,34	2,17	2,07	2,22
13	1,11	1,20	0,48	1,63	0,35	1,29	1,58	0,88	0,69	0,94
14	0,16	0,20	0,20	-0,04	-0,20	0,21	0,25	0,16	0,13	0,40
15	-0,26	-0,45	-0,59	-0,42	-0,87	-0,24	-0,40	0,07	0,20	0,21
16	-0,74	-0,94	-0,99	-0,83	-0,84	-0,31	-0,24	-0,29	0,34	0,20
17	-0,99	-1,31	-1,74	-0,92	-1,36	-0,44	-0,74	-0,30	-0,27	-0,16
18	-1,20	-1,37	-2,24	-1,42	-1,72	-1,26	-0,81	-0,90	-0,77	-0,57
19	-1,40	-1,39	-2,42	-1,42	-2,07	-2,28	-1,63	-1,34	-1,20	-1,10
20	-1,58	-1,47	-2,69	-1,74	-3,31	-2,58	-2,19	-2,42	-1,66	-1,47

[Opracowanie własne].

Analiza badanego pojazdu kolejowego (ED250) za pomocą autorskiego wskaźnika obciążenia hałasem, umożliwia scharakteryzowanie generowanych przekroczeń względem wartości dopuszczalnych określonych w rozporządzeniu [2]. Wyniki analizy wskazują, że na odcinku prostym, wzrost poziomów dźwięku ma raczej charakter nagły, wartości wskaźnika z bardzo dobrych (kolor ciemnozielony) gwałtownie wzrastają do wartości niedopuszczalnych.

Wartości niepokojące pojawiają się jedynie na 1 sekundę przed oraz po pojawieniu się wartości niedopuszczalnych. Pojazdy kolejowe poruszające się po łuku, wskazują większą liniowość w narastaniu wskaźnika NLF. W trakcie dojazdu obiektu wskaźniki stopniowo zmieniają swoje wartości od bardzo dobrych, akceptowalnych, niepokojących aż do niedopuszczalnych. W przypadku odjazdu pojazdu zauważalne jest znaczne wydłużenie wartości niedopuszczalnych (względem odcinka prostego o 2–3 sekundy) oraz powolniejsze opadanie wskaźnika do wartości bardzo dobrych.

Uwzględniając wyniki analizy, autorski wskaźnik obciążenia hałasem pozwala na bardziej kompleksowe podejście do interpretacji oddziaływań akustycznych pochodzących od pojazdów kolejowych.

5. Podsumowanie

W artykule podjęto próbę wskazania nowego podejścia do oceny hałasu generowanego przez pojazdy kolejowe wskaźnikową metodą oceny. Przedstawiono główne założenia do wskaźnika obciążenia hałasem, interpretacji wyników, jak również dokonano obliczeń na podstawie uzyskanych wartości równowaznego poziomu dźwięku A.

Zaproponowano autorskie rozwiązanie służące do kompleksowej oceny wpływu hałasu kolejowego na otoczenie. Opisano założenia oraz możliwość wykorzystania współczynnika obciążenia hałasem (NLF) do oceny oddziaływań akustycznych pochodzących od pojazdów kolejowych. Wprowadzenie oceny wskaźnikowej wraz

z systemem oznaczeń (kolorów) umożliwia identyfikację miejsc zagrożonych dla dowolnego obszaru poszukiwań. Uzyskane wyniki wykazały, że autorskie rozwiązanie umożliwia przeprowadzenie analizy dla pojedynczego punktu, kilku punktów wybranego przekroju pomiarowego, jak również dla całego badanego odcinka linii kolejowej. Dodatkowo, przejrzystość w przedstawieniu danych pozwala na weryfikację wyników przez osoby, które nie posiadają wiedzy eksperckiej.

Literatura

1. Nader M., Korzeb J.: *Dynamic interactions in the transport infrastructure environment. Vibrations in Physical Systems*, Politechnika Poznańska, Poznań, 2012, vol. XXV, pp. 459–468.
2. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 14 czerwca 2007 r. w sprawie dopuszczalnych poziomów hałasu w środowiska, Dz.U. 2014 poz.112, tekst jednolity.
3. Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. Prawo ochrony środowiska, Dz.U. 2017 poz. 519 z późn. zmianami, tekst jednolity.
4. Korzeb J., Ilczuk P.: *Wykorzystanie środowiska VRML dla potrzeb wizualizacji wybranych oddziaływań dynamicznych w aglomeracji miejskiej*, Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej, Transport, OWPW, Warszawa 2013r., Z. 98, s. 301–310.
5. Ozimek E.: *Dźwięk i jego percepcja. Aspekty fizyczne i psychoakustyczne*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2018.
6. Kokowski P.: *Wprowadzenie Teoretyczne, Opis ćwiczeń*, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, Instytut Akustyki, Pracownia Akustyki Stosowanej, Poznań 2002–2003.
7. Polak K., Korzeb J.: *Acoustic signature and impact of high-speed railway vehicles in the vicinity of transport routes*, *Energies* 2022, no 15, vol. 3244.
8. Polak K., Korzeb J.: *Identification of the major noise energy sources in rail vehicles moving at a speed of 200 km/h*, *Energies*, 2021, no. 14(13):3957.
9. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 16 czerwca 2011 r. w sprawie wymagań w zakresie prowadzenia pomiarów poziomów substancji lub energii w środowisku przez zarządzającego drogą, linią kolejową, linią tramwajową, lotniskiem lub portem, Dz.U. 2011 nr 140 poz. 824 z późn. zmianami.
10. Ustawa z dnia 28 marca 2003 r. o transporcie kolejowym, Dz.U. 2020. poz. 1043 tekst jednolity.