

mgr inż. Marcin Wrótny<sup>1\*)</sup>

ORCID: 0000-0002-9353-3396

dr hab. inż. Janusz Bohatkiewicz, prof. uczelni<sup>2)</sup>

ORCID: 0000-0002-9659-2666

# Skuteczność wybranych zabezpieczeń akustycznych stosowanych na liniach kolejowych w Polsce

## *Effectiveness of selected noise mitigation measures used on railway lines in Poland*

DOI: 10.15199/33.2023.08.08

**Streszczenie.** W artykule porównano wybrane rozwiązania ochrony przed hałasem stosowane na liniach kolejowych w Polsce i przedstawiono wyniki badań wielkości redukcji hałasu kolejowego przez cztery typy zabezpieczeń akustycznych. Najlepsze wyniki redukcji poziomu dźwięku uzyskano w przypadku zastosowania kombinacji podkładek podpodkładowych z tłumikami szynowymi, a najmniej skuteczną metodą okazały się podkładowki amortyzacyjne. Ponadto zbadano zależność pomiędzy wielkością redukcji hałasu a prędkością pociągów. Analiza danych jednoznacznie wskazała zwiększenie wartości redukcji hałasu wraz ze wzrostem prędkości pociągu.

**Słowa kluczowe:** hałas kolejowy; zabezpieczenia akustyczne; ochrona przed hałasem; strefa emisji hałasu.

**Abstract.** The article presents the results of a study on the reduction of railway noise by four types of noise mitigation measures. The aim of the study was to compare selected noise protection solutions used on railway lines in Poland. The best results were obtained using a combination of sleeper pads with rail dampers, while the least effective method turned out to be rubber damping pads. In addition, the relationship between noise reduction and train speed was examined. Analysis of the data clearly indicated an increase in the value of noise reduction with increasing train speed.

**Keywords:** railway noise; noise mitigation measure; noise protection; noise emission zone.

**Z**jawisko hałasu związanego z ruchem pojazdów jest dobrze znane i stanowi negatywny czynnik wpływający na stan zdrowia ludzi oraz środowisko. Hałas wywołuje niezadowolenie i zdenerwowanie, a długotrwałe narażenie na nadmierny poziom dźwięku może prowadzić do wzrostu ciśnienia krwi, obniżenia wydajności pracy, trudności w zasypianiu oraz utraty słuchu [1–3]. Hałas generowany przez ruch kolejowy dotyka ponad 22 mln ludzi na całym świecie, co wskazuje, że jest to problem globalny, występujący nie tylko w Polsce [4]. W ostatnich dziesięcioleciach podjęto wiele działań mających na celu minimalizację negatywnych skutków hałasu kolejowego dla mieszkańców. Istnieje wiele metod ochrony przed hałasem, które należy uwzględnić, biorąc pod uwagę różnorodne czynniki, takie jak aspekty techniczne, ekonomiczne, środowiskowe oraz estetyczne, aby tworzyć rozwiązania zgodne z zasadami zrównoważonego rozwoju.

Obecnie w Polsce głównym środkiem redukcji hałasu kolejowego są ekrany przeciwhałasowe, które skutecznie zmniejszają poziom hałasu, ale jednak nie zawsze są najlepszym rozwiązaniem ze względu m.in. na wysokie koszty realizacji oraz utrzymania, trudności w koordynacji pomiędzy branżami oraz brak akceptacji społecznej. Zgodnie z danymi dostarczonymi w 2020 r. przez PKP Polskie Linie Kolejowe S.A., w Polsce zainstalowano ekrany przeciwhałasowe o łącznej długości prawie 240 km. Należy podkreślić, że jest to rozwiązanie funkcjonujące w obszarze pośrednim pomiędzy strefami emisji hałasu i imisji dźwięku oraz skoncentrowane na ochronie osób zamieszkujących w strefach narażonych na hałas. Ekrany przeciwhałasowe mogą jednak negatywnie wpływać na walory wizualne podróży pociągiem, a także bezpieczeństwo ruchu pociągów. W związku z tym istnieje potrzeba poszukiwania innych rozwiązań, które mogą skutecznie redukować hałas kolejowy, jednocześnie uwzględniając aspekty estetyczne, funkcjonalne i ekonomiczne. Przykłady takich rozwiązań mogą obejmować innowacyjne technologie tłumienia hałasu, wykorzystanie nowo-

czesnych materiałów dźwiękochłonnych, odpowiednie projektowanie urbanistyczne oraz strategie zarządzania ruchem kolejowym.

Należy podkreślić, że hałas związany z transportem kolejowym jest zagadnieniem złożonym, ponieważ dokładne jego scharakteryzowanie wiąże się z różnorodnością źródeł, od których ten hałas pochodzi [5]. W największym zakresie prędkości (50–250 km/h), dominującym rodzajem hałasu jest **hałas toczenia**, który powstaje na styku koła z szyną [6]. W związku z tym opracowano wiele metod skoncentrowanych na redukcji tego rodzaju hałasu, które znajdują zastosowanie w strefie emisji.

Jednym z rozwiązań są **smarownice**, czyli urządzenia instalowane na torach kolejowych, których zadaniem jest aplikowanie smaru na powierzchnię styku między kołem a szyną. Poza zmniejszeniem generowanego poziomu hałasu smarowanie zapobiega nadmiernemu zużyciu szyn i kół, co przekłada się na dłuższą żywotność tych elementów i zmniejsza koszty utrzymania infrastruktury kolejowej [7]. Redukcja hałasu w przypadku zastosowania tego zabezpieczenia osiąga wartości zbliżone

<sup>1)</sup> Politechnika Lubelska, Wydział Budownictwa i Architektury

<sup>2)</sup> Politechnika Krakowska, Wydział Inżynierii Lądowej

<sup>\*</sup>) Adres do korespondencji: m.wrotny@pollub.pl

do metody szlifowania szyn, które wynoszą od 2 do 6 dB. Badania wykazują, że kombinacja obu metod, tzn. **zastosowanie smarownic oraz szlifowanie szyn, może przyczynić się do obniżenia poziomu hałasu o łączną wartość nawet ponad 8 dB**, która przewyższa sumę pojedynczych efektów [8].

**Tłumiki szynowe**, czyli kolejny rodzaj urządzenia redukującego hałas, montowane są bezpośrednio na szynach w celu absorpcji i redukcji hałasu generowanego przez przejeżdżające pociągi. Składają się najczęściej z kombinacji różnych materiałów o właściwościach tłumiących i dźwiękochłonnych [9 – 10]. Redukcja hałasu osiągnięta dzięki zastosowaniu tłumików szynowych może wynosić od ok. 2 do 9 dB [11]. Tłumiki szynowe zmniejszają emisję dźwięku przez redukcję wibracji. Przyczynia się to do ograniczenia uciążliwości dla otoczenia i poprawy komfortu życia mieszkańców w pobliżu linii kolejowych, a także zwiększa komfort podróży pociągiem. Należy jednak zauważyć, że skuteczność działania tłumików szynowych jest ściśle związana z charakterystyką podkładów stosowanych pod szynami. Podkłady kolejowe pełnią istotną rolę w zapewnieniu stabilności i tłumieniu wibracji szyn, a także wpływają na redukcję hałasu generowanego przez ruch kolejowy. Ich właściwości i konstrukcja mają bezpośredni wpływ na skuteczność redukcji hałasu za pomocą tłumików szynowych [12]. W produkcji podkładów kolejowych stosuje się różne materiały, takie jak drewno, beton sprężony, stal oraz materiały kompozytowe. Podkłady drewniane są wciąż najbardziej popularne, ale coraz częściej wykorzystuje się beton sprężony, stal oraz materiały z recyklingu. W ostatnich latach szczególne zainteresowanie wzbudzają podkłady wykonane z materiałów kompozytowych, które zapewniają wiele korzyści, takich jak trwałość, odporność na korozję i chemikalia, wymagają mniej konserwacji oraz mają dłuższą żywotność w porównaniu z tradycyjnie stosowanym drewnem. Ponadto podkłady kompozytowe mają tendencję do skutecznego zmniejszenia hałasu i wibracji w porównaniu z podkładami betonowymi [13 – 14].

Rozwiązaniem, które wspomaga zadaną realizację przez podkłady kolejowe, są podkładowe redukujące dodatkowo drgania, a tym samym poziom emitowanego dźwięku. Podkładowe te są umieszczane pomiędzy podkładem a podsypką betonową lub płytą betonową w przypadku toru bez tłuczniowego. Pełnią one rolę elastycznego elementu, który absorbuje drgania powstające w wyniku oddziaływania pojazdów kolejowych na torowisko, a na ich skuteczność ma wpływ konstrukcja oraz materiał, z którego zostały wykonane (elastyczne materiały, takie jak gumy syntetyczne, tworzywa sztuczne o właściwościach elastycznych lub specjalnie zaprojektowane kompozyty [15]).

Istnieje również możliwość ograniczenia hałasu na liniach kolejowych przez zastosowanie metod takich, jak **kontrola prędkości pociągów, modernizacja taboru kolejowego lub odnowienie infrastruktury torowej**. Niemniej jednak, wymienione metody generują znaczne koszty ekonomiczne lub, w przypadku ograniczenia prędkości, mogą prowadzić do obniżenia komfortu podróży.

## Metoda badań

Celem wykonanych badań było określenie wielkości redukcji poziomu dźwięku uzyskiwanych przy użyciu czterech wybranych zabezpieczeń akustycznych stosowanych na liniach kolejowych w Polsce. Bazując na informacjach uzyskanych od instytucji zarządzających sieciami kolejowymi, wytypowano odcinki badawcze, gdzie zastosowano następujące rozwiązania ochrony akustycznej: absorbery szynowe (Nowy Dwór Mazowiecki), gumowe podkładowe amortyzacyjne (Olkusz) oraz smarownice (Tarnów). Dodatkowo wykonano pomiary w miejscu zastosowania nowo zaprojektowanej podkładowej podpodkładowej wraz z tłumikami szynowymi (Skarżysko-Kamienna).

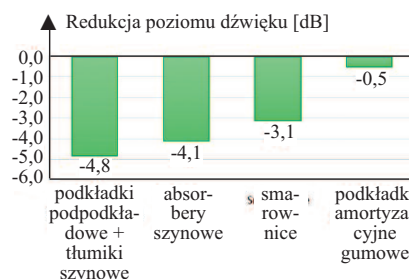
W celu określenia redukcji poziomu dźwięku przy użyciu urządzenia mającego na celu ograniczenie hałasu, niezbędne jest wykonanie badań w warunkach rzeczywistych in situ, w ramach testu pass-by, zgodnie z metodą pomia-

rową określoną w Polskiej Normie [16]. Procedura metody pomiaru hałasu kolejowego polega na ciągłym pomiarze poziomu dźwięku, a następnie wyodrębnieniu poziomu dźwięku indywidualnie w przypadku każdego z przejazdów. W każdym miejscu badań wykonano pomiary poziomu dźwięku w dwóch punktach: punkcie referencyjnym oraz punkcie, w którym zastosowano wspomniane zabezpieczenia, a wielkością mierzoną był równoważny poziom dźwięku  $L_{Aeq}$ . Punkt referencyjny jest miejscem, które służy jako punkt odniesienia, umożliwiając ocenę poziomu hałasu bez jakichkolwiek środków redukcyjnych. Pomiary wykonano w obu punktach jednocześnie, co pozwala na bezpośrednie porównanie poziomów dźwięku w tożsamych warunkach propagacji fali dźwiękowej oraz w takim samym czasie, z i bez zastosowanych zabezpieczeń. Podczas badań określono również prędkość pociągu, rodzaj taboru oraz warunki atmosferyczne.

## Analiza wyników badań

Na podstawie wyników pomiarów określono wielkość średniej redukcji poziomu dźwięku w miejscach występowania czterech analizowanych rodzajów zabezpieczeń akustycznych (rysunek 1). Poziomym porównawczym jest wartość 0,0 dB, czyli sytuacja bez zastosowania rozwiązań ograniczających poziom generowanego dźwięku.

Porównując wartości redukcji poziomu dźwięku otrzymane w przypadku przebadanych zabezpieczeń akustycznych stwierdzono, że jednoczesne zastosowanie podkładów podpodkłado-



**Rys. 1. Porównanie skuteczności akustycznej wybranych urządzeń redukujących hałas kolejowy**

*Fig. 1. Comparison of the acoustic effectiveness of selected rail noise reduction devices*

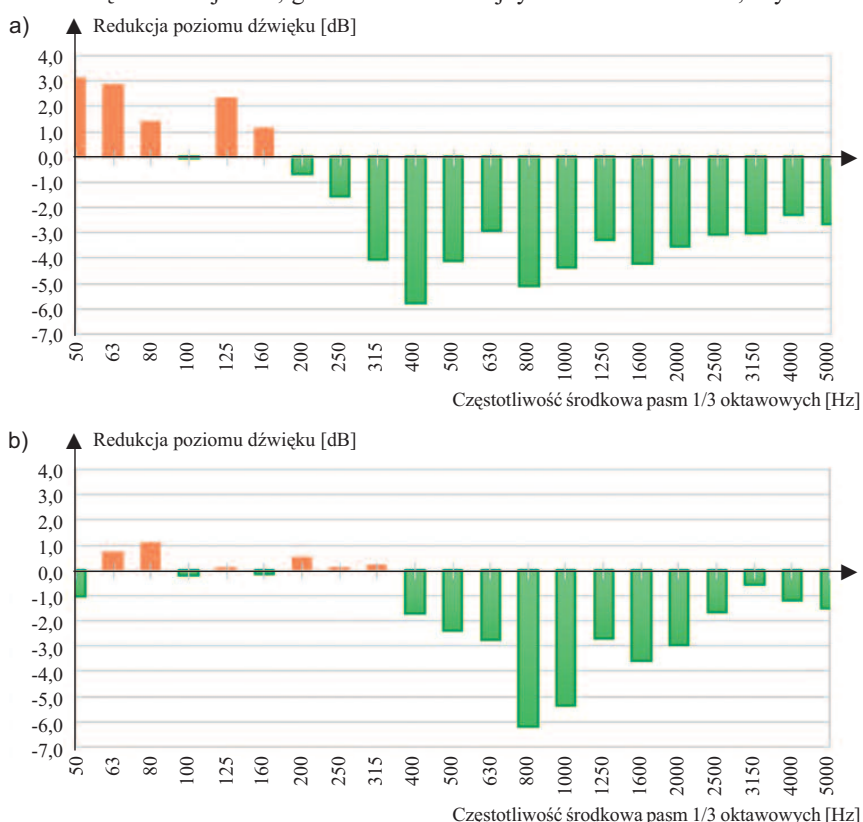
wych i tłumików szynowych umożliwiło uzyskanie największej redukcji hałasu wynoszącej 4,8 dB. Absorbery szynowe wykazały się mniejszą o 0,7 dB skutecznością akustyczną przy poziomie ponad 4 dB, a redukcja hałasu za pomocą smarownic wyniosła 3,1 dB. Zgodnie z dotychczasowymi wynikami badań wartość redukcji hałasu powyżej 3 dB wystarcza, aby mieszkańcy zwrócili uwagę na pozytywną zmianę klimatu akustycznego [17]. W odniesieniu do podkładek amortyzacyjnych zainstalowanych w Olkuszu uzyskano marginalne wartości redukcji poziomu dźwięku wynoszące zaledwie ok. 0,5 dB. Należy podkreślić, że w przeciwieństwie do pozostałych lokalizacji, linia kolejowa w Olkuszu to hutnicza szerokotorowa linia kolejowa, co oznacza, że najczęściej przejeżdżającym rodzajem taboru kolejowego były pociągi towarowe. Osiągnięta wartość redukcji hałasu na poziomie 0,5 dB jest niewielka i praktycznie nieodczuwalna przez człowieka. Tak mała skuteczność może być spowodowana złym stanem technicznym tych zabezpieczeń po wielu latach eksploatacji. Istnieje również możliwość szybkiej utraty zdolności redukcji hałasu, szczególnie przy obciążeniu głównie transportem towarowym, który charakteryzuje się większymi obciążeniami w porównaniu z pociągami osobowymi i szynobusami. Dalszej analizie poddano wyniki dotyczące dwóch najlepszych, pod względem skuteczności, zabezpieczeń akustycznych, tj. podkładek podpodkładowych z tłumikami szynowymi oraz absorberów szynowych.

Na obu odcinkach badawczych zarejestrowano cztery rodzaje taboru kolejowego: samobieżne pociągi pasażerskie nowego oraz starego typu; pociągi pasażerskie wagonowe oraz pociągi towarowe. W Skarżysku-Kamiennej pociągi poruszały się z prędkością od 46 km/h do 114 km/h (średnia wartość – 82,6 km/h), a w Nowym Dworze Mazowieckim od 52 do 119 km/h (92,7 km/h). Średnia wartość poziomu dźwięku generowana przez przejeżdżający tabor kolejowy wynosiła w przypadku analizowanych lokalizacji odpowiednio 88,1 dB oraz 82,9 dB. Wartość redukcji hałasu była również zmienna. W przypadku

podkładek podpodkładowych z tłumikami wynosiła 3,2 – 6,8 dB, a w przypadku absorberów szynowych od 2,1 dB do nawet 7,5 dB. W ramach badań prowadzono także pomiary poziomu dźwięku przy użyciu filtrów o szerokości pasma 1/3 oktawy. Miało to na celu określenie charakterystyki częstotliwościowej hałasu generowanego przez pojazdy szynowe zarówno w punkcie referencyjnym, jak i w miejscach zainstalowanych zabezpieczeń akustycznych. Takie podejście umożliwiło dokładną analizę akustycznych właściwości zastosowanych środków ochronnych. Na rysunku 2 przedstawiono omawiane wyniki pomiarów. Wielkości redukcji poziomu dźwięku w spektrum częstotliwości jednoznacznie wskazują na poprawę stanu klimatu akustycznego w obszarach, w których zastosowano zabezpieczenia akustyczne. Zgodnie z literaturą, hałas toczenia, który dominuje w hałasie generowanym przez ruch pociągów, należy rozpatrywać w zakresie częstotliwości 50 – 5000 Hz [18]. Redukcja poziomu dźwięku w miejscach, gdzie zasto-

sowano absorbery szynowe i podkładowe podpodkładowe z tłumikami szynowymi, jest najbardziej widoczna przy częstotliwości od 500 do ok. 2000 Hz. Jest to zakres najbardziej istotny ze względu na czułość ucha ludzkiego, ponieważ oddziaływanie dźwięków o niższej i wyższej częstotliwości jest nieistotne. W obu przypadkach badanych zabezpieczeń, przy częstotliwości mniejszej niż 400 Hz wystąpił wzrost poziomu hałasu, a nie jego redukcja. Może to wynikać z wpływu innych zjawisk, jak przeniesienie drgań w zakres niskich częstotliwości.

Biorąc pod uwagę przedstawione informacje, dokonano analizy zależności pomiędzy prędkością przejeżdżającego pociągu a wartością redukcji poziomu dźwięku przy częstotliwości 1000 – 2000 Hz. Ustalono zależności w przypadku zabezpieczeń w postaci podkładek podpodkładowych z tłumikami szynowymi oraz absorberów szynowych przedstawiono na rysunku 3. Wynika z nich występowanie wartości skrajnych. W celu zbadania, czy możli-

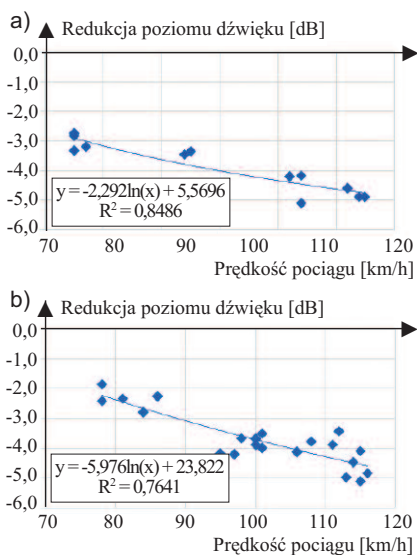


**Rys. 2. Średnia wartość redukcji poziomu dźwięku w zależności od częstotliwości pasma: a) podkładowe podpodkładowe + tłumiki szynowe; b) absorbery szynowe**

*Fig. 2. Average values of sound level reduction depending on the band frequency: a) sleeper pads + rail dampers; b) rail absorbers*

we jest ich pominięcie, przeprowadzono statystykę testu Grubbsa. Na podstawie obliczeń przy poziomie ufności równym  $\alpha = 0,05$  zdecydowano się pominać 2 wyniki w przypadku badania skuteczności podkładek podpodkładowych z tłumikami szynowymi oraz 4 wyniki w przypadku badania absorberów szynowych.

W obu przypadkach wraz ze wzrostem prędkości pociągu zwiększa się wartość redukcji poziomu dźwięku. Współczynniki determinacji  $R^2$  wyznaczonych funkcji zmiennych wynoszą 0,85 oraz 0,76, co wskazuje na silną zależność pomiędzy omawianymi parametrami. W przypadku absorberów szynowych zaobserwowano prawie dwukrotne zwiększenie redukcji hałasu przy zwiększeniu prędkości z 80 do 110 km/h, a dokładnie wzrost redukcji z 2,2 dB do 4,2 dB. W przypadku zastosowania podkładek podpodkładowych z tłumikami szynowymi, zwiększenie prędkości z 45 km/h do 85 km/h skutkowało wzrostem redukcji o 1,5 dB. Wyniki te wskazują na istotny wpływ prędkości pociągów na skuteczność redukcji hałasu w przypadku obu badanych rozwiązań akustycznych – im większa prę-



**Rys. 3. Zależność pomiędzy wartością redukcji poziomu dźwięku a prędkością przejeżdżających pociągów: a) podkładki podpodkładowe + tłumiki szynowe; b) absorbery szynowe**

*Fig. 3. The relationship between the value of sound level reduction and the speed of passing trains: a) sleeper pads + rail dampers; b) rail absorbers*

kość pociągu, tym większa skuteczność danego rozwiązania (przy niskiej prędkości dominuje hałas silnika lokomotywy).

## Wnioski

W artykule przedstawiono metody redukcji hałasu kolejowego z zastosowaniem różnych środków mających na celu ograniczenie jego emisji. Wykonane analizy dotyczyły czterech urządzeń stosowanych w strefie emisji hałasu, czyli w obszarze konstrukcji nawierzchni drogi kolejowej. Na podstawie uzyskanych wyników stwierdzono, że najefektywniejszym rozwiązaniem umożliwiającym osiągnięcie największej redukcji poziomu dźwięku jest zastosowanie kombinacji podkładek podpodkładowych oraz tłumików szynowych. Uzyskiwana wartość redukcji jest na poziomie 4,8 dB, co pozwala na znaczną poprawę warunków akustycznych w otoczeniu linii kolejowej. Analizy dotyczyły również innych metod redukcji hałasu z zastosowaniem absorberów szynowych, smarownic oraz gumowych podkładek amortyzujących. Ostatnia z wymienionych metod charakteryzowała się najmniejszą wartością redukcji poziomu dźwięku wynoszącą 0,5 dB, co w praktyce nie jest odczuwane przez człowieka. Wartość ta mogła jednak wynikać ze zużycia eksploatacyjnego podkładek przy dużym obciążeniu ruchem pociągów towarowych.

Wprowadzenie zabezpieczeń akustycznych na obszarach, gdzie występuje przekroczenie dopuszczalnego poziomu hałasu, ma istotny wpływ na poprawę jakości życia mieszkańców. Ważne jest zatem wykonywanie szczegółowych analiz przy planowaniu inwestycji związanych z infrastrukturą kolejową, aby uwzględnić odpowiednie środki redukcji hałasu. Poprawa klimatu akustycznego wpływa bowiem bezpośrednio na zmniejszenie negatywnych skutków hałasu na zdrowie ludzi.

## Literatura

- [1] World Health Organization. Burden of Disease from Environmental Noise. 2011.
- [2] Wrótny M, Bohatkiewicz J. Impact of Railway Noise on People Based on Strategic Acoustic Maps. Sustainability. 2020; DOI: 10.3390/su12145637.

- [3] Wrótny M, Bohatkiewicz J. Traffic noise and inhabitant health – a comparison of road and rail noise. Sustainability. 2021; DOI: 10.3390/su13137340.

- [4] European Environment Agency. Environmental noise in Europe – 2020. 22/2019. 2020.

- [5] Thompson D. Railway noise and vibration: mechanisms, modelling and means of control. Elsevier. 2008.

- [6] Dings PC, Ditttrich MG. Roughness on Dutch railway wheels and rails. Journal of Sound and Vibration. 1996; vol. 193, no. 1, pp. 103 – 112.

- [7] Valente M, Kaewunruen S. Life cycle analysis of mitigation methodologies for railway rolling noise and groundbourne vibration. Journal of Environmental Management. 2017; DOI: 10.1016/j.jenvman.2016.12.075.

- [8] Csontos G, Augusztinovicz F. Noise mitigation with rail lubrication device on tramline. 5th International Conference on Road and Rail Infrastructures – CETRA 2018. 2018.

- [9] Zvolenský P, Grenčík J, Pultznerová A, Kašiar L. Research of noise emission sources in railway transport and effective ways of their reduction. MATEC Web of Conferences. 2017.

- [10] Bavlna L, Pultznerova A, Zvolenský P. Possibilities of railway traffic noise reduction depending on the railway structure and construction of the rail vehicle. Logistyka. 2015.

- [11] Jang S, Ryue J. Finite element analysis of rail dynamic absorber for reducing railway noise. Journal of the Korean Society for Railway. 2017; DOI: 10.7782/JKSR. 2017.20.6.726.

- [12] Zhao J, Chan AHC, Burrow MPN. Reliability analysis and maintenance decision for railway sleepers using track condition information. Journal of the Operational Research Society. 2007; DOI: 10.1057/palgrave.jors.2602251.

- [13] Ferdous W, Manalo A, Van Erp G, Aravinthan T, Kaewunruen S, Remennikov A. Composite railway sleepers – Recent developments, challenges and future prospects. Composite Structures. 2015; DOI: 10.1016/j.compstruct. 2015.08.058.

- [14] Ghorban A, Erden S. Polymeric composite railway sleepers. ISERSE'13. 2013.

- [15] Kaewunruen S, Remennikov AM. Under sleeper pads: field investigation of their role in detrimental impact mitigation. Proceedings of the 13th International Railway Engineering Conference. 2015; pp. 1 – 17.

- [16] PN-EN ISO 3095:2013-12. 2013. Pomiar hałasu emitowanego przez pojazdy szynowe.

- [17] Wrótny M, Bohatkiewicz J, Bohatkiewicz-Czacka J. Influence of using low-noise pavements on residents' perception of road noise protection. Transportation Research Part D: Transport and Environment. 2022; DOI: 10.1016/j.trd.2022.103531.

- [18] Thompson D, Wuand T, Armstrong T. Wheel/rail rolling noise – The effects of non-linearities in the contact zone. Proceedings of the Tenth International Congress on Sound and Vibration. 2003; pp. 1653 – 1672.

*Część badań przedstawionych w artykule była finansowana w ramach projektu badawczo-naukowego POIR.04.01.04-00-0078/18 „Nowe rozwiązanie podkładki podpodkładowej i tłumika szynowego do ochrony otoczenia drogi szynowej przed drganiami i hałasem”.*

*Przyjęto do druku: 25.07.2023 r.*