

Nowoczesne metody redukcji hałasu kolejowego

Modern methods of railway noise reduction



Kamil Hajduk

Mgr inż.

Bahati Rail



Roksana Licow

Dr inż.

Politechnika Gdańska
Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska
Katedra Inżynierii Transportowej

roksana.licow@pg.edu.pl
ORCID: 0000-0002-4368-0064



Christoph Gramowski

Dr inż.

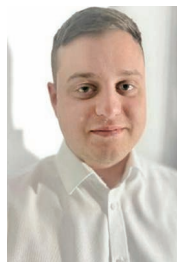
Schrey&Veit



Mikołaj Pachniewski

Mgr inż.

absolwent Politechniki Gdańskiej



David Słuchocki

Mgr inż.

absolwent Politechniki Gdańskiej

Streszczenie: W artykule przedstawiono wyniki wieloletnich badań absorberów szynowych H, prowadzonych przez jednostki badawcze w Polsce i w Niemczech, które potwierdzają ich skuteczność, wysoką trwałość oraz stabilność mocowań. W ramach badań wskazano również znaczące różnice w skuteczności redukcji hałasu w zależności od typu nawierzchni oraz rodzaju taboru. Artykuł obejmuje ponadto przegląd aktualnych trendów w przeciwdziałaniu hałasowi kolejowemu w Europie: kompozytowe wkładki hamulcowe, zintegrowane systemy monitoringu taboru oraz możliwość stosowania niższych ekranów akustycznych w połączeniu z absorberami. W pracy zwrócono także uwagę na rolę decyzji środowiskowych i specyfikacji technicznych, których niedoskonałości często prowadzą do nieoptymalnych rozwiązań projektowych.

Słowa kluczowe: Absorbery przyszynowe; Dynamiczne tłumiki szynowe; Statyczne tłumiki szynowe; Kolejowe ekrany akustyczne; Absorbery do kół kolejowych

Abstract: The article presents the results of long-term studies on H rail dampers conducted by research units in Poland and Germany, confirming their effectiveness, high durability, and mounting stability. The studies also indicated significant differences in noise-reduction performance depending on the type of track structure and the type of rolling stock. The article further includes a review of current trends in railway noise mitigation in Europe: composite brake blocks, integrated rolling-stock monitoring systems, and the possibility of using lower noise barriers in combination with dampers. The paper also highlights the role of environmental decisions and technical specifications, whose shortcomings often lead to suboptimal design solutions.

Keywords: Rail dampers; dynamic rail dampers; Static rail dampers; Railway noise barriers; Railway wheel dampers

Wstęp

Hałas kolejowy, czyli hałas powstający w czasie przejazdu pociągów stanowi jedno z najpoważniejszych wyzwań środowiskowych związanych z eksploatacją infrastruktury kolejowej. Zwiększanie prędkości jazdy oraz dobowej liczby pociągów wpływa na konieczność stosowania rozwiązań, które skutecznie ograniczają emisję dźwięku u źródła oraz w otoczeniu linii kolejowych. Najczęściej stosowanym środkiem ochrony są ekrany akustyczne, jednak w wielu przypad-

kach ich zastosowanie jest kosztowne, nieefektywne lub społecznie kontrowersyjne. Dlatego coraz częściej analizowane są rozwiązania alternatywne takie jak: tłumiki dynamiczne (absorbery szynowe) oraz absorbery do kół. Jednym z najważniejszych kryteriów oceny tych rozwiązań jest ich trwałość oraz odporność na obciążenia eksploatacyjne. Dodatkowo, precyzyjne utrzymanie toru poprzez szlifowanie szyn, regulację jego położenia w planie i profilu, monitoring stanu nawierzchni oraz stawianie wymagań dla przewoźników w za-

kresie odpowiedniego utrzymania stanu taboru, również znacząco wpływa na skuteczne ograniczanie emisji hałasu.

Zintegrowany system monitoringu oddziaływania kolei na środowisko

Jednym ze sposobów monitoringu hałasu emitowanego przez tabor kolejowy do środowiska są zintegrowane systemy monitoringu oparte na kamerach wizyjnych oraz czujnikach akustycznych i drganiowych [8]. Ta-



1. Absorber H i jego mocowanie do szyny
[opracowanie własne]

kie systemy umożliwiają integrację pomiarów parametrów ruchu, technicznych i środowiskowych.

Przykłady takich rozwiązań, czasami w bardziej ograniczonym zakresie możliwości pomiarowych, funkcjonują w Niemczech, Szwajcarii czy Francji. W Polsce obecnie badania terenowe prowadzi zespół naukowców z Politechniki Gdańskiej i Politechniki Wrocławskiej [8].

Zastosowanie przez zarządców infrastruktury Zintegrowanego systemu monitoringu oddziaływania kolei na środowisko może pozwolić na monitorowanie parametrów technicznych taboru wpływających na hałas oraz identyfikację najgłośniejszych składów.

Przegląd badań i rozwiązań infrastrukturalnych w zakresie redukcji hałasu na liniach kolejowych

Tłumiki dynamiczne

Trwałość drogi szynowej szacowana jest z uwzględnieniem jej elementów składowych konstrukcji i przeznaczenia. W większości przypadków przyjmuje się 40 letnią trwałość w przypadku linii magistralnych silnie obciążonych i 50 letnią dla linii o mniejszym ruchu [5]. Czynniki

wpływającymi na wieloletnią bezawaryjną eksploatację są właściwe dobrane do warunków techniczno-eksploatacyjnych przytwierdzenia szyn oraz podkłady kolejowe. Istotą rolę pełnią również podłoże oraz odpowiednie odwodnienie linii kolejowej. W zakresie rozwiązań przeciwhałasowych należy wspomnieć o ich żywotności.

Żywotność absorberów przyszytowych H [14] szacowana jest na minimum 20 lat. Ich spodziewana trwałość to 25-30 lat, co wynika z ich wytrzymałości na co najmniej 3 mln cykli zmęczeniowych i brak wpływu tych cykli na ich trwałość. Pierwsze badania zmęczeniowe absorbera H (rys. 1), wykonano w 2013 po zaprojektowaniu nowego typu tłumika dynamicznego, którego zaprojektowanie wymuszone było wymaganiami głównego zarządcy niemieckich linii kolejowych. Badania przeprowadzono dla 8 typów absorberów. Każdy typ przeszedł pomyślnie próbę zmęczeniową obejmującą serie po 3 miliony cykli. Po testach mocowanie pozostało stabilne, momenty dokręcania śrub nie uległy zmianie a odkształcenia zacisków wyniosły poniżej 150 µm. Dzięki tym badaniom potwierdzono odporność konstrukcji na obciążenia dynamiczne występujące w eksploatacji.

Z uwagi na wymóg cykliczności badań zgodnie z niemieckimi normami jakościowymi przeprowadzono je ponownie w 2024 roku (rys. 2). Absorber H oraz jego system mocowania (metalowe sprężyny zaciskowe) przebadano w Jednostce Badawczej ds. Infrastruktury

Transportowej Uniwersytetu Technicznego w Monachium. Badania zmęczeniowe obejmowały 3 mln cykli dynamicznego obciążenia oraz dodatkowe drgania pochodzące od oscylatora niewyważenia. Próby prowadzono zgodnie z normą [12], odwytwarzając naprężenia występujące w miejscach przytwierdzeń szyn. Po zakończeniu testów nie stwierdzono uszkodzeń absorberów ani utraty sprężystości zacisków, które zachowały pełną funkcjonalność i nie wykazały trwałych odkształceń.

Odporność wytrzymałościowa jest najważniejszą właściwością użytkową tłumika szynowego i jego mocowania, dlatego tak ważne jest wykonywanie testów tłumika szynowego zgodnie z normą [12].

Cechą wpływającą na skuteczność tłumika przyszykowego jest jego funkcjonalność w zakresie właściwego sposobu montażu. Odpowiednie rozwiązanie montażowe istotnie wpływa na stabilność położenia tłumika w czasie jego eksploatacji w związku z przyjmowaniem oddziaływań dynamicznych pochodzących od przejeżdżającego taboru oraz wpływu wykonywanych prac utrzymaniowych (np. podbijanie toru, profilowanie podsypki).

Dla porównania, izolatory przyszykowe/wkładki wibroizolacyjne (tłumiki statyczne) mocowane są zazwyczaj za pomocą klipsów/stalowych sprężyn obejmujących szyjkę lub stopkę szyny. Takie rozwiązanie nie zapewnia pełnego dolegania materiału tłumiącego do szyjki szyny, jak również jest bardzo podatne na odkształcenia wynikające o oddziały-



2. Absorber H podczas badań wytrzymałościowych przeprowadzonych zgodnie z normą [12]
[opracowanie własne]





3. Przykład niewłaściwego przylegania izolatora przyszynowego [opracowanie własne]

wań dynamicznych tor – pojazd (rys. 3).

Wymóg badań zmęczeniowych zrealizowano w 2024 r. w TU Monachium, wykonując pełną próbę zmęczeniową systemu mocowania absorberów H. Badanie przeprowadzono zgodnie z [12] przy obciążeniu pulsacyjnym 3 mln cykli oraz dodatkowej wibracji z częstotliwością 50 Hz. Po zakończeniu testu nie stwierdzono żadnych uszkodzeń ani utraty sprężystości mocowania a cały system zachował pełną funkcjonalność [12].

Wyniki uzyskane z badań zmęczeniowych są istotne, ponieważ stabilność mocowania ma kluczowy wpływ na skuteczność akustyczną tłumików dynamicznych szyn. Wyniki TU Monachium potwierdziły, że absorber i jego system przytwierdzenia utrzymują parametry pracy w długim czasie, co odróżnia je od przekładek podszynowych (pkt. 3.2), które w badaniach wykazują znaczące zużycie po takim samym obciążeniu.

Badania w zakresie prób zmęczeniowych przekładek podszynowych

Kluczowym parametrem decydującym o bezpieczeństwie, komforcie jazdy oraz akustycznym zachowaniu toru jest trwałość przekładek podszynowych [12]. Elementy wykonane z tworzyw sztucznych w największym stopniu determinują długoterminową stabilność siły docisku, oporu

podłużnego oraz sztywności systemu SB. Publikacja [4] wskazuje, że przekładka może „ulegać szybkiej degradacji i jako pierwszy element kwalifikowana może być do wymiany”. Zastosowanie materiałów najwyższej jakości jest tutaj kluczem do trwałości nawierzchni kolejowej jako systemu, przy koszcie początkowym stanowiącym znikomą część kosztu modernizacji czy utrzymania nawierzchni kolejowej.

Ocena wytrzymałości przekładek wymaga przeprowadzenia pełnych badań zmęczeniowych do 3 mln cykli obciążenia, ponieważ dopiero ta próba pokazuje realne zmiany parametrów przekładki, które wystąpią w trakcie eksploatacji. Test 3 mln cykli odpowiada jedynie za ok. 5–10% rzeczywistego obciążenia eksploatacyjnego toru. Podczas realizacji takich badań można zaobserwować degradację przekładki stwierdzoną gorszymi wartościami parametrów [4] (tabela 1).

Po 3 mln cykli, siła docisku przekładki typu 1 zmniejszyła się o 23%, a opór podłużny aż o 32%. sztywność statyczna zwiększyła się o +125%, co wpływa na znaczne usztywnienie i pogorszenie właściwości akustycznych toru [4]. Oznacza to, że bez re-

alizacji badań zmęczeniowych, nie da się ocenić rzeczywistego wpływu przekładki na generowany hałas toczenia i trwałość elastyczną przytwierdzeń szyn.

Stwierdzenie to potwierdza, że kryterium trwałości zmęczeniowej jest istotnym parametrem, ważniejszym niż sztywność wyjściowa mierzona statycznie.

Badania podkładek podpodkładowych

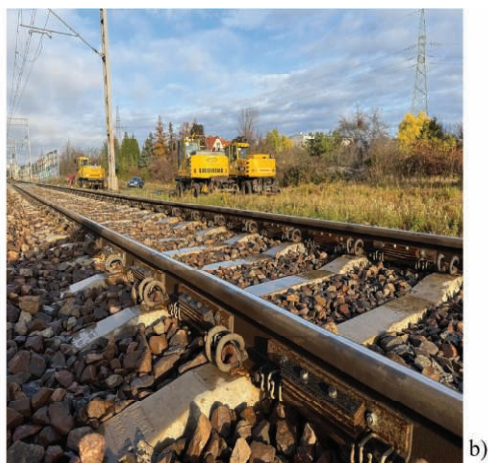
W ramach programu badawczego obejmującego testy innowacyjnych technologii redukcji hałasu kolejowego [21] przebadano czy zastosowanie podkładek podpodkładowych wykazuje redukcję hałasu oraz czy zwiększa skuteczność absorberów, w tym wypadku absorberów H. Porównano 140-metrowy odcinek testowy, na którym zastosowano zarówno elastyczno-plastyczną podkładkę podpodkładową, z odcinkiem referencyjnym. Wyniki badań wykazały, że samo użycie podkładki podpodkładowej nie powoduje redukcji hałasu. Zarejestrowano redukcję poziomu hałasu o ok. 3,5 dB(A) można uzyskać po zamontowaniu absorberów H. Podkładki podpodkładowe działają głównie w zakresie modyfikacji parametrów dynamicznych toru i nie przekłada się to na mierzalne zmniejszenie poziomu hałasu toczenia.

Badania skuteczności absorberów H w zależności od typu podkładów kolejowych i przytwierdzeń

Skuteczność tłumienia absorberów przyszynowych zależy od typu nawierzchni kolejowej na której są wbudowane. W celu zbadania wpływu konstrukcji nawierzchni kolejowej

Tab. 1. Zestawienie wyników badań obciążeń cyklicznych systemów przytwierdzeń z przekładkami typu 1 i typu 2 [4]

Rodzaj przekładki		typ 1	typ 2
Parametr			
Siła docisku	Parametr w stanie nowym	18,7 kN	22,4 kN
	3 mln cykli	14,4 kN (–23%)	18,8 kN (–16%)
Opór podłużny	Parametr w stanie nowym	16,6 kN	20,4 kN
	3 mln cykli	11,3 kN (–32%)	18,5 kN (–9,3%)
Sztywność statyczna	Parametr w stanie nowym	122,9 MN/m	89,0 MN/m
	3 mln cykli	276,2 MN/m (+125%)	111,3 MN/m (+25%)



4. Polygon badawczy z przytwierdzeniem typu K (a) oraz z przytwierdzeniem typu SB (b) na LK nr 250 [opracowanie własne]



5. Pomiary hałasu zgodnie z [11] na poligonie w Sopocie, tor 501 LK 250 [opracowanie własne]

wej na skuteczność tłumienia przeprowadzono pomiary skuteczności absorberów szynowych H w zależności od typu zastosowanych podkładów kolejowych, przytwierdzeń oraz związanych z nimi przekładek podszytowych. Badaniom poddano absorbery zainstalowane w dwóch lokalizacjach na LK nr 250 (Gdańsk Główny – Rumia) w torze 501 na szlaku Sopot – Gdynia Orłowo (rys. 4a), oraz w torze 501 na szlaku Gdańsk Wrzeszcz – Gdańsk Oliwa (rys. 4b). W konstrukcji toru w pierwszej lokalizacji występowały podkłady betonowe PBS-1 z przytwierdzeniem typu K z nowowbudowanymi przekładkami (rys. 5) podszytowymi a w drugiej lokalizacji podkłady strunobetonowe PS83 z przytwierdzeniem typu SB (tor po 3-miesięcznym okresie stabilizacji).

W przypadku pierwszej lokaliza-

cji, gdzie występowała nawierzchnia starego typu (podkłady PBS-1 i przytwierdzenie typu K) otrzymano średnią tłumienia ok. 2,0 dB(A) (dla składów EZT starego typu np. EN57 i pochodne), a dla nowych EZT (31WE /31WEbb) ok. 2,6 dB(A). Natomiast średniodobowa skuteczność absorbera H dla tej lokalizacji wyniosła 2,2 dB(A).

Tak mała wartość średniej tłumienia absorberów H spowodowana była stanem technicznym infrastruktury (35 lat), która właśnie z tego powodu w 2026 roku przechodzić będzie naprawę główną.

W przypadku drugiej lokalizacji, dla odcinka z podkładami PS83, przytwierdzeniem SB oraz nową podsypką spodziewane są wyniki średniej tłumienia o wartości ok. 3,5 dB(A). Większa skuteczność tłumienia wynikać będzie m.in. z odpowiednio

podbitego i oprofilowanego toru na tym odcinku pomiarowym.

Przeprowadzone badania w zakresie prób zmęczeniowych przekładek podszytowych jak również pomiary realizowane na liniach kolejowych jednoznacznie wskazują na konieczność badania przekładek podszytowych stosowanych na sieci linii kolejowych w Polsce. Obowiązkowe testy zmęczeniowe do 3 mln cykli, wpłyną między innymi na ocenę siły docisku, która jest kluczowa dla bezpieczeństwa toru oraz ocenę poziomu hałasu toczenia.

Zastosowanie ekranów akustycznych z użyciem absorberów przyszynowych

Przy wykorzystaniu modelu obliczeniowego opracowanego na podstawie programu badawczego [10] wyliczono jakie byłoby możliwe zmniejszenie wysokości ekranu akustycznego, gdyby zastosować w torze absorbery akustyczne. Analizę wykonano dla do terenu płaskiego. Badania przeprowadzono dla 4-metrowego ekranu akustycznego oddalonego o 6 m od osi toru. Punkt badawczy zlokalizowano w odległości 29,5 m od osi toru na wysokościach: 3 m, 6 m i 9 m. Obliczenia wykazały możliwość zmniejszenia wysokości ekranu akustycznego w zakresie 0,5-0,7 m w przypadku zastosowania absorberów.

Przeprowadzone badania [10], stanowią punkt odniesienia do realizacji badań rzeczywistych na sieci głównego zarządcy kolejowego w Polsce.

Kolejnym sposobem ograniczenia hałasu kolejowego jest zastosowanie niskich ekranów akustycznych. W 2017 roku przeprowadzono badania modelowe na podstawie [6, 20], które wykazały, że samo zastosowanie niskiego ekranu akustycznego jest porównywalne ze skutecznością ekranu wysokiego, ponieważ ekran niski montowany jest bliżej osi toru niż ekran wysoki (co najmniej 2,2 m od osi toru). Taka zmiana położenia umożliwia przy ekranach o wysoko-

Tab. 2. Wyniki badań modelowych dla zastosowania niskich ekranów akustycznych, gdy tor znajduje się na nasypie (lub obiekcie inżynierskim), przeprowadzonych zgodnie z [6, 20]

Piętro budynku oddalonego o 20 m od osi torowiska	Wariant	Poziom hałasu 1m przed fasadą L_{Aeq} , dB		Wariant	Poziom hałasu 1m przed fasadą L_{Aeq} , dB		Skuteczność ekranowania D , dB
		dzień	noc		dzień	noc	
1	Nasyp 4.5 m	65.56	65.69	Nasyp 4.5 m + niski ekran	59.81	59.94	5.75
2		68.55	68.68		61.40	61.53	7.15
3		72.10	72.24		63.23	63.36	8.87
4		72.00	72.13		65.32	65.45	6.68
5		71.78	71.91		67.55	67.68	4.23
6		71.47	71.60		69.39	69.52	2.08
7		71.09	71.22		71.09	71.22	0

Piętro budynku oddalonego o 20 m od osi torowiska	Wariant	Poziom hałasu 1m przed fasadą L_{Aeq} , dB		Wariant	Poziom hałasu 1m przed fasadą L_{Aeq} , dB		Skuteczność ekranowania D , dB
		dzień	noc		dzień	noc	
1	Nasyp 3 m	67.04	67.18	Nasyp 3 m + niski ekran	60.58	60.71	6.46
2		69.9	70.03		62.28	62.41	7.62
3		72.07	72.20		64.24	64.37	7.83
4		71.9	72.03		66.45	66.58	5.45

ści 0,76 m uzyskać skuteczności ekranowania odpowiednio do 3 dB(A) i 7 dB(A) przy pomiarze na wysokości 3,5 m i w odległości 25 m od osi toru. Ekran referencyjny umieszczony w większej odległości od toru, o wysokości 2 m, daje w tych warunkach skuteczność 10 dB(A) (Tabela 2).

Skuteczność niskich ekranów akustycznych jest tym większa, im wyżej położone są tory względem otoczenia. Ich zastosowanie powinno być brane pod uwagę gdy tory znajdują się na nasypie o wysokości min. 3 m lub na wiadukcie.

Prace utrzymaniowe - szlifowanie szyn

Decyzje środowiskowe dotyczące ochrony przeciwhałasowej często zawierają zapisy dotyczące szlifowania szyn oraz utrzymania parametrów geometrycznych toru i stanu powierzchni tocznej szyn jako czynników mających wpływ na możliwość ograniczania hałasu. Jest to uzasadnione, ponieważ stan toru, podobnie jak jakość podkładów i parametry zagęszczenia podsypki mają bezpośredni wpływ na generowany hałas toczenia. Według [19] stosowne utrzymanie nawierzchni poprzez regularne szlifowanie i smarowanie szyn są jednym z elementów poprawiających klimat akustyczny wokół

linii kolejowej.

Badania naukowe [15] również potwierdzają znaczący wpływ reprofilacji szyn na poziom hałasu. Badania te wykazały, że usunięcie zużycia falistego może spowodować redukcję hałasu nawet do około 9 dB(A). W typowych warunkach, między kolejnymi cyklami szlifowania, poziom poprawy wynosi zwykle około 3 dB(A).

Warto podkreślić, że dla reprofilacji prewencyjnej szyn należy usuwać z ich powierzchni tocznej co najmniej 0,3 mm, a dla naprawczej 0,6 mm, przy obowiązku zejścia 0,1 mm poniżej dna fal krótkich [25].

Kluczowe jest to, że falistość rozwija się w czasie, a więc częstotliwość koniecznego szlifowania decyduje o długoterminowych parametrach akustycznych toru. W tym obszarze istotną przewagę dają absorbery szynowe, np. omówione w pkt. 2.1. absorbery H. Na odcinkach, gdzie są stosowane, obserwuje się istotne wydłużenie czasu rozwoju falistości, nawet około trzykrotnie w porównaniu z odcinkami bez absorberów. W praktyce oznacza to: rzadszą potrzebę szlifowania, mniejsze koszty utrzymania nawierzchni oraz wyraźną przewagę absorberów H nad tłumikami statycznymi i innymi absorberami o niskiej skuteczności.

Z perspektywy eksploatacyjnej

jest to bardzo istotne, ponieważ tor bez rozwijającej się falistości szyn utrzymuje niski poziom drgań i charakteryzuje się mniejszą emisją hałasu przez dłuższy czas. W efekcie szlifowanie, regulacja toru w planie i profilu oraz absorbery nie są działaniami konkurencyjnymi, lecz uzupełniającymi się. Wysokiej jakości absorber nie tylko poprawia bieżącą akustykę toru, ale również spowalnia rozwój wad, które wymuszają późniejsze procesy utrzymaniowe (szlifowanie i regulację toru w planie i profilu).

W przeszłości technologia HSG mająca na celu szlifowanie pasywne podczas przejazdu z dużą prędkością zapowiadała się obiecująco, jednak w praktyce okazała się nieskuteczna. Zamiast deklarowanych 0,1 mm zdejmowała jedynie ok. 0,01 mm powierzchni tocznej szyny, czyli wielokrotnie mniej niż wymagane standardy utrzymaniowe. Nie usuwała falistości ani defektów zmęczeniowych, dlatego mimo dużych inwestycji została szybko zweryfikowana negatywnie [9].

Przegląd badań i rozwiązań taborowych w zakresie redukcji hałasu toczenia

Regulacje dotyczące utrzymania taboru w kontekście ochrony przed hałasem

Zastąpienie hamulców blokowych z żeliwa hamulcami tarczowymi może spowodować zmniejszenie poziomu hałasu na liniach kolejowych w dobrym stanie nawet o 10 dB(A) podczas hamowania. Jest to związane z chropowatością występującą na powierzchni tocznej kół hamowanych za pomocą żeliwnych klocków [16] (rys. 6). W przypadku wagonów z żeliwnymi hamulcami, konieczne jest regularne przetaczanie powierzchni tocznej kół w celu przywrócenia żądanego profilu obręczy.

Polskie badania przeprowadzone na torze doświadczalnym Instytutu Kolejnictwa w Żmigrodzie dla typu



6. Widok na a) i b) koło szorstkie hamowane żeliwnymi wkładkami hamulcowymi, c) i d) koło gładkie hamowane kompozytowymi wkładkami hamulcowymi [17]

to mniej niż 40% ogółu, w 2023 roku było to 33% [24]. Oprócz wymogów wymiany i dostosowania taboru przez przewoźników, w tym aspekcie skuteczny może być system bramek akustycznych [8], które wykrywać będą najgłośniejsze składy, za które zarządcy infrastruktury wystawiać będą dodatkowe opłaty przewoźnikom. Jest to jeden z tańszych sposobów walki z hałasem oraz najbardziej skuteczny i nie ingerujący w finanse zarządcy infrastruktury kolejowej.

Niezwykle istotny jest fakt, szybkiego reagowania i wyłączania ze składów wagonów z uszkodzeniami powierzchni tocznej kół w postaci płaskich miejsc, które powinny być usuwane poprzez reprofilację. Poprzez poślizg i tarcie w czasie hamowania koła na jego powierzchni tocznej może powstać powierzchnia płaska, która podczas dalszej jazdy objawia się nadmiernym hałasem i drganiami. Przez zestaw kołowy z płaskim miejscem na obręczy możliwe jest nawet uszkodzenie powierzchni tocznej głowki szyny.

Absorbery montowane na zestawach kołowych

Rozwiązaniem mającym wpływ na zredukowanie poziomu dźwięku emitowanego przez zestawy kołowe pojazdów kolejowych są absorbery kołowe (rys. 7), montowane bezpośrednio na zestawach kołowych taboru. Emisja hałasu z kół zachodzi głównie w zakresie częstotliwości rezonansowych. Absorbery (rys. 7c i 7d) wykonane są jako rezonatory wielowarstwowe. Składają się z metalowych płyt przekładanych warstwami elastomerów. Specjalna konstrukcja zapewnia trójwymiarowy efekt, który umożliwia redukcję dźwięku toczenia (do 7 dB(A)) oraz pisków (do 18 dB(A)). Badania taboru z zastosowaniem różnych elementów tłumienia i późniejsze ich stosowanie spowodowałyby ogromny postęp na drodze do ograniczania hałasu kolejowego [17].



7. Przykłady absorberów do kół a), b), c), d) [17]

wagonu Eaos potwierdziły, że zastosowanie wkładek hamulcowych kompozytowych zamiast żeliwnych daje możliwość redukcji hałasu o 6 dB(A) [7].

Od 8 grudnia 2024 r. po wyznaczonych „cichych sekcjach” linii kolejowych w Unii Europejskiej poruszać się mogą jedynie wagony towarowe

spełniające wymagania TSI Hałas [22]. Wagon musi być wyposażony w kompozytowe wstawki hamulcowe, które zapewniają cichszą eksploatację.

Liczba lokomotyw oraz wagonów towarowych z kompozytowymi wkładkami hamulcowymi z roku na rok rośnie. W Polsce wciąż jednak jest

Analiza aktów prawnych i wymagań w zakresie ochrony przed hałasem kolejowym

Charakterystyka zapisów wymogów projektowych dla tłumików i ekranów akustycznych

Poprawne zapisy w Specyfikacjach Technicznych (ST), Specyfikacjach Warunków Zamówienia (SWZ) i dokumentacjach projektowych są kluczowe dla doboru zasadnych elementów ochrony akustycznej. W praktyce jednak od lat powielane są nieprecyzyjne wymagania, które mogą być nieskuteczne w celu zredukowania poziomu dźwięku w określonym punkcie lub obszarze.

W dokumentacjach przetargowych dotyczących np. paneli aluminiowych stanowiących ekrany akustyczne, problemy wynikają z ogólnych zapisów dotyczących parametrów materiałowych, często bez wskazania obciążeń od ruchu kolejowego i metod ich weryfikacji odporności zmęczeniowej [18].

Głównym problemem często jest również brak wskazania jakie badania i według jakiej metody mają potwierdzić te wymagania. W ST brakuje przywołań norm PN-EN 1793-1/2/5, które są jedynymi obowiązującymi dla ekranów kolejowych w Europie.

Dokumentacje dot. stosowania tłumików akustycznych zawierają ogólne zapisy np. obniżenie poziomu dźwięku o 2 dB(A), które są trudne do interpretacji bez zadania pytania zamawiającemu. Ponieważ nie określa czy 2 dB(A) dotyczy poziomu z korekcją A oraz czy dotyczy pory dziennej i nocnej osobno [23].

Dodatkowo, w dokumentacjach często występuje brak wymagań co do odporności tłumików na wielokrotny demontaż / montaż co stawia wymóg określonej trwałości. Często w ST znajdują się ogólne informacje np.: „Konstrukcja absorbera ma zapewniać możliwość wielokrotnego demontażu” [18]. Nie ma określonej liczby cykli, sposobu testowania czy wymagań dotyczących efektywno-

ści akustycznej po ponownym montażu.

Decyzje środowiskowe w Polsce – wymagania i dobra praktyka

Decyzje o środowiskowych uwarunkowaniach (DŚU) stanowią formalny punkt wyjścia dla projektowania zabezpieczeń akustycznych na liniach kolejowych. Praktyka pokazuje jednak, że sposób ich przygotowania często uniemożliwia optymalny dobór środków ochrony przed hałasem. Ocena trzech analiz porealizacyjnych jednoznacznie wskazuje, że DŚU [1-3]: narzucają konkretne wysokości i lokalizacje ekranów, zamiast określić cel redukcji hałasu. Dodatkowo, są niespójne pomiędzy województwami nawet dla tej samej linii kolejowej i nie uwzględniają wariantów technologicznych i możliwości późniejszej rozbudowy tej linii kolejowej.

Takie postępowanie prowadzi do chaosu projektowego i konieczności sporządzenia trzech różnych analiz akustycznych dla jednego zadania zamiast podejścia skoordynowanego.

Praktyka wykazuje, że projektanci rozpatrują kilka wariantów ochrony akustycznej (ekrany, absorbery, ich kombinacje). Jednakże po zapoznaniu się z DŚU, należy zastosować konkretne, przedstawione w decyzji rozwiązanie. Gdyby jednak decyzja zamiast wskazywać konkretne rozwiązania, wymagała redukcji np. 3-5-7-8 dB(A), projektant mógłby wykorzystać optymalne rozwiązania redukcji hałasu. Dokumenty z lat 2020-2024 potwierdzają, że absorbery szynowe oferują realną redukcję hałasu średnio 1,5 - 3 dB(A) [1-3]. Badania własne z roku 2025 potwierdzają natomiast, że skuteczność akustyczna absorberów najwyższej klasy wynosi 3 dB(A), a w niektórych klasach pociągów blisko 5 dB(A).

Od wydania DŚU do realizacji inwestycji mija zwykle 3 - 5 lat, a zmiana decyzji trwa nawet 2 lata, przez co często DŚU nie obejmuje najnowszych rozwiązań technologicznych

w czasie realizacji.

Podsumowanie

Przeprowadzona analiza aktów prawnych oraz rozwiązań technologicznych i sposobu ich wdrażania potwierdza, że skuteczne ograniczanie hałasu kolejowego wymaga podejścia systemowego, kompleksowego, obejmującego zarówno kontekst infrastrukturalny oraz taborowy. Badania zmęczeniowe absorberów szynowych H wykazały ich dużą trwałość oraz stabilność mocowania, co odróżnia je od elementów takich jak statyczne tłumiki szynowe. Wyniki badań terenowych i modelowych dowodzą, że absorbery przyszynowe mogą skutecznie wspierać lub zastępować ekrany akustyczne, pozwalając na zmniejszenie ich wysokości, a w niektórych przypadkach nawet całkowicie eliminować potrzebę ich budowy.

Właściwy dobór technologii powinien zależeć od dominującego rodzaju ruchu na danej linii kolejowej czy jej odcinku, co w praktyce rzadko jest stosowane. Kluczowe znaczenie ma również właściwe utrzymanie toru. Szlifowanie i usuwanie falistości szyn mogą redukować hałas nawet o 9 dB(A). Na podstawie analizy dokumentacji opracowanych decyzji środowiskowych i specyfikacji technicznych wskazano, że system projektowania rozwiązań redukujących poziom emisji akustycznej do środowiska, powinien zachęcać do stosowania rozwiązań hybrydowych. Dodatkowo, rekomenduje się przeprowadzanie badań akustycznych na etapie projektowania z uwzględnieniem aktualnej wiedzy technicznej i dostępnych rozwiązań. Określenie celu w zakresie wymaganego poziomu redukcji hałasu umożliwi projektantom racjonalny dobór rozwiązań ograniczających emisję hałasu. Dodatkowo, dobrą praktyką byłoby przygotowanie 2 albo 3 wariantów rozwiązań przeciwhałasowych celem przedstawienia ich inwestorowi do oceny. ◀

Materiały źródłowe

- [1] Analiza porealizacyjna do decyzji Wojewody Mazowieckiego nr WŚR-I-AZ/6613/1/76/06 z dnia 17 stycznia 2007 r. dotyczącej modernizacji linii kolejowej E65 Warszawa - Gdynia od km 4+775 do km 132+640.
- [2] Analiza porealizacyjna do decyzji Wojewody Pomorskiego z dnia 14 marca 2007 r. (znak: ŚR/S. II.ZF/6670/23-9/06) dla przedsięwzięcia pn. "Przebudowa i rozbudowa (modernizacja) linii kolejowej E65 Warszawa - Gdynia w granicach województwa pomorskiego, tj. od km 236+900 do km 328+120 oraz od km 0+000 do km 26+000".
- [3] Analiza porealizacyjna w zakresie oddziaływania przedsięwzięcia na tereny wymagające ochrony przed hałasem dla zadania pn. "Przebudowa i rozbudowa (modernizacja) linii kolejowej E65 na odcinku Warszawa - Gdynia w granicach województwa warmińsko - mazurskiego od km 132+640 do km 236+900".
- [4] Anatolik Ł., Wpływ przekładki podszynowej na pracę systemu przytwierdzenia typu SB, 2018.
- [5] Bałuch H., Determinanty wymiany nawierzchni kolejowej, Problemy Kolejnictwa, Zeszyt 175, Warszawa 2017.
- [6] Basic Noise Prediction Method (BNPM), DIN 18005 - Part 1, maj 1987.
- [7] Bułhak J., Buchalska E., Redukcja hałasu emitowanego przez tabor towarowy poprzez zastosowanie kompozytowych wstawek hamulcowych, TTS, 11-12/2006.
- [8] Chrostowski P., Wilk A., Grulkowski S., Licow R., Michna M., Jarzębowski L., Skibicki J., Judek S., Karwowski K., Szafranski M., Widerski T., Daliga K., Bawolski P., Karkosińska-Brzozowska N., Zintegrowany system monitoringu oddziaływania kolei na środowisko, Przegląd Elektrotechniczny, ISSN 0033-2097, R. 101 NR 3/2025
- [9] DB NETZE, Innowacyjne środki przeciw hałasowi i ochrona przed wibracjami wzdłuż toru. Raport końcowy, – Frankfurt nad Menem, 15 czerwca 2012.
- [10] DB NETZE, Specjalny Program Ochrony przed Hałasem Kolejowym, mający na celu finansowanie indywidualnych działań w zakresie ochrony przed hałasem na federalnych liniach kolejowych w ramach Programu Przyspieszenia Infrastruktury II (IBP II) Raport końcowy – Frankfurt nad Menem, grudzień 2015.
- [11] EN ISO 3095:2013 Akustyka – Zastosowania kolejowe – Pomiar emisji hałasu pojazdów szynowych.
- [12] EN 13146- 4:2020 Zastosowania kolejowe – Tory – Metody badawcze systemów przytwierdzeń szyn – Część 4: Wpływ obciążeń powtarzalnych.
- [13] EN 15461:2008+A1:2010 – Kolejnictwo – Emisja hałasu – Charakterystyka własności dynamicznych odcinków toru dla ruchu poprzez pomiary hałasu.
- [14] Hajduk K., Gramowski Ch., Grulkowski S., Bułaka M., Znaczenie tłumienia drgań w procesie redukcji hałasu. Nowoczesne Technologie i Systemy Zarządzania w Transporcie Szynowym NOVAKOL 2025, materiały konferencyjne - Kraków, Polska, Stowarzyszenie Inżynierów i Techników Komunikacji Rzeczpospolitej Polskiej. Oddział w Krakowie, Kraków 2025 - s. 45-66
- [15] Hajduk K., Niskie ekrany - skuteczna obrona przed hałasem w transporcie kolejowym.
- [16] Hemsworth B., Najnowsze osiągnięcia w badaniach nad hałasem kół/szyny. Journal of Sound and Vibration, 66, 297–310, 1979.
- [17] Koter M., Groll W., Instytut Kolejnictwa, Badanie Taboru - dopuszczenie do stosowania, Spała, 2016.
- [18] Opracowanie dokumentacji projektowej dla realizacji robót na odcinku Maksymilianowo - Kościerzyna na linii kolejowej 201 wraz z pełnieniem nadzoru autorskiego realizowane w ramach projektu: "Prace na alternatywnym ciągu transportowym Bydgoszcz - Trójmiasto".
- [19] PKP Polskie Linie Kolejowe S.A., Hałas pod lupą PLK.
- [20] Program do modelowania hałasu w środowisku IMMI 2016, literatura i instrukcja obsługi.
- [21] Raport końcowy DB NETZE: Inicjatywa dotycząca nowych i zorientowanych na zastosowania testów ochrony przed hałasem (I-LENA).
- [22] Rozporządzenie Komisji (UE) nr 1304/2014 z dnia 26 listopada 2014 r. w sprawie technicznych specyfikacji interoperacyjności podsystemu „Tabor kolejowy — hałas”, zmieniające decyzję 2008/232/WE i uchylające decyzję 2011/229/UE (Dz.U. L 356 z 12.12.2014, s. 421).
- [23] „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).
- [24] Sprawozdanie z funkcjonowania rynku transportu kolejowego. Urząd Transportu Kolejowego; 2023.
- [25] Warunki techniczne PKP PLK S.A. - reprofilacja szyn w torach i rozjazdach - Część 1: Warunki wykonywania i odbioru robót Id-104