

# ZWIĘKSZENIE KONKURENCYJNOŚCI TRANSPORTU SZYNOWEGO POPRZECZ OGRANICZENIE JEGO ODDZIAŁYWAŃ NA NATURALNE ŚRODOWISKO

---

Kazimierz Towpik

Prof. dr hab. inż. Politechnika Warszawska, Międzynarodowa Wyższa Szkoła, Logistyki i Transportu we Wrocławiu

---

*Streszczenie. W artykule poruszono problematykę ograniczenia wpływu oddziaływania transportu szynowego na środowisko naturalne w kontekście zwiększenia jego konkurencyjności. Przedstawiono możliwości ograniczenia oddziaływań wibroakustycznych.*

*Słowa kluczowe: wpływ transportu kolejowego na naturalne środowisko, oddziaływania wibroakustyczne, hałas, ekrany akustyczne*

## 1. Wstęp

Oddziaływania transportu na środowisko to przede wszystkim zanieczyszczenie powietrza wskutek emisji tlenków azotu i tlenku węgla, związków organicznych oraz pyłów, a także gazów cieplarnianych, oddziaływania wibroakustyczne w postaci drgań mechanicznych oraz emisja akustyczna (hałas). Inne skutki funkcjonowania transportu to wypadki, kongestia ruchu, zmiany klimatyczne, przekształcenie krajobrazu oraz zwiększenie powierzchni komunikacyjnej kraju wskutek rozbudowy infrastruktury.

Koszty wynikające z działalności transportu są w większości ponoszone przez społeczeństwo, a trudności w ich obliczaniu powodują, że często nie są one uwzględniane w cenie usługi transportowej. Struktura tych kosztów pod względem przyczyny ich powstawania kształtuje się w Polsce następująco: wypadki 50%, hałas 3%, zanieczyszczenie powietrza 40%, zmiany klimatu 3%, przekształcenia krajobrazu 4%. Ocenia się przy tym, że źródłem 90% wszystkich tych kosztów zewnętrznych jest transport samochodowy.

Ograniczając się do porównania transportu samochodowego i kolejowego, lub nieco szerzej – transportu szynowego, trzeba zaznaczyć, że ten ostatni zapewnia użytkownikom większe bezpieczeństwo i w znacznie mniejszym stopniu oddziałuje na środowisko również dzięki mniejszej zajętości terenu. Mniejsze niż w transporcie samochodowym oddziaływania transportu szynowego na środowisko stanowią istotną zaletę mogącą zwiększać jego konkurencyjność. Nie oznacza to jednak, że transport szynowy nie jest źródłem negatywnych oddziaływań na otoczenie, więc od dawna poszukuje się rozwiązań mających na celu ograniczenie skutków tych oddziaływań.

Analizy podejmowane obecnie w Polsce w znacznej mierze dotyczą zmian klimatu akustycznego<sup>1</sup> ze względu na hałas wywołany ruchem drogowym i kolejowym. Wynika to z potrzeby wyznaczenia obszarów, gdzie przekroczone są dopuszczalne poziomy hałasu.

Ocena oddziaływań na środowisko wymaga znajomości parametrów populacji – jej struktury i dynamiki rozwoju, migracji, charakteru osadnictwa, warunków zdrowotnych – oraz warunków przyrodniczych – fauny i flory, istniejących ekosystemów, walorów krajobrazowych oraz lokalizacji i charakteru rezerwatów przyrody. Wymaga również opracowania jednolitych kryteriów i norm stosowanych do oceny oddziaływań transportu na środowisko.

W przypadku transportu szynowego mamy do czynienia z obiektem liniowym przecinającym różnorodne przestrzenne struktury środowiska. W fazie budowy lub modernizacji linii komunikacyjnej może nastąpić zakłócenie lub przecięcie zlewni wód powierzchniowych i podziemnych oraz istniejących ekosystemów wskutek budowy nasypów i przekopów, prowadzenia dróg dojazdowych oraz wykorzystywania miejscowych zasobów naturalnych (kopaliny, wody itp.). Droga szynowa i związane z nią dodatkowe urządzenia, takie jak ogrodzenia, linie energetyczne, nasypy i przekopy, stanowią także przeszkodę w przemieszczaniu się zwierząt [5, 10].

Jednym z zasadniczych celów polityki transportowej Unii Europejskiej jest więc ujednoczenie podejścia poszczególnych państw do rozwiązywania problemów ekologicznych, w tym również zasad oceny kosztów zewnętrznych transportu kolejowego. Zdefiniowanie jednolitych standardów technicznych jest utrudnione z uwagi na różnorodność obszarów, przez które przebiegają linie komunikacyjne. Często więc trzeba ograniczyć się do opracowania wytycznych i zaleceń.

## 2. Oddziaływania wibroakustyczne transportu szynowego na środowisko

Drgania mechaniczne wzbudzane przejazdami pociągów (w szczególności siłami dynamicznymi na styku koła z szyną) są przekazywane podtorzu i podłożu gruntowemu. Następstwem tego jest propagacja drgań, głównie w postaci fal powierzchniowych przenoszonych na obiekty inżynieryjne oraz budynki znajdujące się w sąsiedztwie toru. W rezultacie pojawiają się drgania rezonansowe tych budynków, które zaznaczają się szczególnie podczas przejazdu pociągów towarowych o dużych naciskach osi. Zasięg drgań szkodliwych lub uciążliwych dla ludzi może przekraczać 100 m. Występują one najczęściej w zakresie częstotliwości od 10 do 60 Hz, natomiast drgania mechaniczne wzbudzane w konstrukcjach mają zazwyczaj częstotliwość 50–125 Hz [3].

Inną formą oddziaływania transportu szynowego jest emisja akustyczna. Głównym jej składnikiem jest hałas powodowany przez toczenie się kół po szynach, który odgrywa dominującą rolę przy prędkościach do 250 km/h. Największe na-

<sup>1</sup> Pod pojęciem klimatu akustycznego rozumie się zespół zjawisk akustycznych występujących na danym obszarze, niezależnie od źródeł je wywołujących. Oceniany jest zazwyczaj na podstawie poziomu dźwięku.

tężenie hałasu emitowanego w układzie koło–szyna występuje w kierunku prostopadłym do osi toru. Hałas ten może osiągać wartość do 90 dB(A) w paśmie częstotliwości 300–1000 Hz. Drugie ekstremum przypada na częstotliwość ok. 2000 Hz, minimum natomiast w paśmie częstotliwości 100–125 Hz. Nierówności powierzchni tocznej koła i szyny, okresowo występujący styk obrzeża koła z szyną oraz poślizgi kół powodują hałas odbierany w postaci szumu i stuków. Może być on szczególnie dokuczliwy w przypadku zużycia falistego szyn oraz płaskich starć obręczy kół.

Do zużycia falistego zarówno szyn, jak i obręczy kół, a w konsekwencji do zwiększonej emisji akustycznej dochodzi na skutek zmienności obciążeń w strefie styku koła z szyną, wynikających z zakłóceń podstawowego ruchu pojazdu oraz wysokoczęstotliwościowych drgań koła i szyny. Dodatkową przyczyną emisji może być różnica promieni tocznych występująca na obwodzie koła (poligonizacja kół). Emisja akustyczna wywołana przejazdem pociągu jest znacznie większa na mostach, wiaduktach i innych obiektach inżynieryjnych.

Źródłami hałasu są również: współpraca pantografu z siecią, drgania elementów nadwozia i podwozia pojazdu, drgania materiałowe wysokich częstotliwości wzbudzane podczas hamowania, hałas napędu pojazdów trakcyjnych, wysoko- i średnio- i niskoprężnych silników spalinowych i kompresorów powietrznych. W przypadku dużych prędkości jazdy zaczyna dominować hałas aerodynamiczny związany z pokonywaniem przez poruszający się pojazd oporów powietrza. Zwiększenie prędkości jazdy pociągu ze 140 do 200 km/h zwiększa natężenie hałasu o 2–3 dB, natomiast dalsze zwiększenie prędkości ma niewielki wpływ na poziom hałasu.

Proporcje hałasu pochodzącego z różnych źródeł nie są jednolite i zależą od prędkości jazdy, liczby kół, długości i masy pociągu, nacisków osi, konstrukcji nawierzchni (masy szyn, rodzaju przytwierdzeń), a także układu i profilu linii. Na przykład, w otoczeniu linii TGV, po której ruch odbywał się z prędkościami do 300 km/h, a natężenie ruchu wynosiło 65 do 140 pociągów na dobę, rejestrowano poziom hałasu przekraczający 70–90 dB(A) oraz odczuwalne oddziaływania drgań. W badaniach ankietowych, jako najważniejszą uciążliwość 39% respondentów wskazało częstość przejazdów, 34,4% oddziaływanie drgań, a 26,6% natężenie hałasu.

Transport kolejowy jest więc poważnym źródłem hałasu i wibracji. Obszerne badania prowadzone z inicjatywy UIC już od lat dziewięćdziesiątych XX w. miały na celu znalezienie rozwiązań pozwalających na zmniejszenie oddziaływań wibroakustycznych. Przyczyniły się one do rozwoju technik pomiarowych i programów komputerowych, takich jak *Vibra* i *Vampire*. Do ważnych projektów można zaliczyć *Silent Track*, w ramach którego za pomocą teoretycznego modelowania emisji akustycznej opracowano zmiany konstrukcyjne nawierzchni kolejowej, umożliwiające zmniejszenie hałasu o ok. 10 dB(A). Program badawczy *Silent Freight* miał na celu znalezienie sposobów ograniczenia hałasu emitowanego przez poruszający się pojazd, a w konsekwencji wprowadzenie zmian w konstrukcji pojazdów szynowych (zmiany kształtu i masy pojazdu, zastosowania osłon na pantografy i wózki, optymalizacja konstrukcji kół ze względu na emisję akustyczną). Program *Meta-*

*rail (Measuring Technics for Noise Emission)* zmierzał do opracowania jednolitych zasad pomiaru i oceny hałasu. Sposobów zmniejszania emisji akustycznej związanej z hamowaniem pojazdów dotyczył program badawczy *Euro sabot*. Chodziło o wybór materiałów ograniczających hałas powstający w wyniku oddziaływań między hamulcem i kołem oraz weryfikację proponowanych rozwiązań z zastosowaniem modeli symulacyjnych. Program *Basnoise (Basic Noise Research)* obejmował między innymi ocenę efektywności stosowania ekranów akustycznych, opracowanie aktywnych metod technicznej kontroli hałasu (*Active Noise Control*) oraz ocenę skuteczności stosowania różnych warstw materiałowych w kontakcie koło–szyna.

### 3. Możliwości ograniczenia oddziaływań wibroakustycznych transportu szynowego na środowisko

Próby zmniejszenia wibroakustycznych oddziaływań transportu szynowego sprowadzają się przede wszystkim do stosowania środków umożliwiających częściowe wytłumienie drgań w miejscu ich powstawania, ograniczenia możliwości przenoszenia drgań, oddzielenia od siebie elementów układu drgającego oraz stosowania urządzeń chroniących przed zewnętrznym oddziaływaniem drgań. W przypadku transportu szynowego w obrębie aglomeracji istotne jest zapewnienie komfortu wibracyjnego ludziom znajdującym się w budynkach położonych w sąsiedztwie tras komunikacyjnych [2, 8].

Na terenach zurbanizowanych, dworcach, przystankach i obiektach inżynierskich (mostach, wiaduktach, tunelach) oraz wszędzie tam, gdzie konstrukcja nawierzchni szynowej ma podwyższoną sztywność, wykonuje się jej wibroizolację ograniczającą drgania konstrukcji. Najczęściej stosowane rozwiązania ograniczające drgania w nawierzchni to *maty* z tworzywa sztucznego układane pod warstwą podsypki, *wykładziny i wkładki tłumiące drgania* z betonów porowatych, tufów wulkanicznych i tworzyw sztucznych oraz *wkładki sprężyste i otuliny gumowe* szyn oraz innych stalowych elementów nawierzchni.

Ograniczeniu drgań w nawierzchni służą również warstwy stanowiące ochronę antywibracyjną torowiska, układane pod podsypką w postaci *geowłóknin i geosiatek, płyt gumowych* itp. Szczególnie wymagają tego konstrukcje nawierzchni bezpodsypkowych, mające większą sztywność w porównaniu z klasyczną nawierzchnią szynową.

W celu ograniczenia oddziaływań wibroakustycznych pociągów na liniach dużych prędkości stosowane są *podtorowe maty wibroizolacyjne* wykonane z tworzyw sztucznych lub gumy, w postaci gotowych koryt lub arkuszy o różnych profilach. Rozróżnia się maty układane pod warstwą podsypki (SBM – *Sub Ballast Mats*) oraz układane pod płytami betonowymi (STM – *Sub Track Mats*). Uważa się, że skuteczność mat układanych pod warstwą podsypki jest największa w przypadku drgań o częstotliwości  $\geq 63$  Hz, a pod konstrukcjami niekonwencjonalnymi przy częstotliwości  $\geq 30$  Hz. Maty SBM również mogą być układane pod płytami.

Dla mat określa się sztywność statyczną  $C_{stat}$  (statyczny moduł podłoża) oraz sztywność dynamiczną  $C_{dyn}$ . Stosunek sztywności dynamicznej do statycznej nazywany jest *współczynnikiem usztywnienia dynamicznego*. Statyczną sztywność mat wybiera się w zależności od maksymalnego nacisku osi oraz dopuszczalnej prędkości jazdy. Dla prędkości powyżej 200 km/h i nacisku powyżej 160 kN przy nawierzchniach z warstwą podsypki zalecana jest sztywność statyczna w granicach 0,10–0,15 N/mm<sup>2</sup>. Matę powinien również cechować możliwie niski współczynnik usztywnienia (1,3–2,2). Grubość maty mieści się w granicach 5–50 mm. Dodatkowo przy wyborze materiału maty uwzględnia się dopuszczalną wartość ugięcia szyny i częstotliwość drgań własnych obiektu [9].

W przypadkach, gdy drgania powodowane przejazdem pociągów oddziałują negatywnie na budowie znajdujące się w pobliżu toru, stosuje się specjalne *wibroizolatory* tłumiące zarówno drgania akustyczne o wysokich, jak i o niskich częstotliwościach (10–30 Hz).

Bardzo skutecznym, lecz kosztownym rozwiązaniem antywibracyjnym jest układanie elementów stanowiących rodzaj oscylatora harmonicznego o niewielkiej częstotliwości drgań własnych (tzw. *floating-slab-system*). Elementy te, o masie od 4000 do 9000 kg i częstotliwości drgań własnych od 5 do 7 Hz, stosowane są w tunelach i w konstrukcjach nawierzchni niekonwencjonalnych. Uzyskanie dobrego efektu tłumienia wymaga jednak prawidłowej oceny drgań własnych badanego systemu.

Oslabienie oddziaływań wibroakustycznych uzyskuje się również, wprowadzając zmiany w konstrukcji taboru. Jest to sposób szczególnie efektywny w przypadku dużych prędkości jazdy (220–320 km/h), przy których dominuje hałas aerodynamiczny. W tym celu w pociągach zespołowych stosuje się osłony na okna, drzwi, wózki i spód pojazdu, które zmniejszają opory powietrza. Optymalizuje się również kształt pojazdu, zwłaszcza jego przodu, oraz zmniejsza powierzchnię przekroju poprzecznego. Ponadto ogranicza się masę pojazdu poprzez zastosowanie stopów aluminium.

Obniżenie ciśnienia akustycznego można również uzyskać dzięki stosowaniu osłon pantografów i zmniejszeniu ich liczby. Dobry efekt przynoszą modyfikacje elementów sieci trakcyjnej, polegające na zmniejszeniu odległości pomiędzy wieżakami oraz zwiększeniu naciągu przewodów jezdných, co zapobiega utratom kontaktu pantografu z siecią w czasie jazdy.

Najszerzej obecnie stosowanym środkiem ograniczania hałasu są *ekrany akustyczne*: pionowe, ukośne lub poziome. Efektywność akustyczną ekranu określa się jako różnicę poziomów ciśnienia akustycznego w punkcie obserwacji przed i po ustawieniu ekranu. Przy projektowaniu ekranów istotny jest właściwy wybór jego geometrii i miejsca usytuowania względem źródła emisji.

Podstawowym wymogiem, który musi spełniać ekran, jest dostateczna *izolacyjność akustyczna (dźwiękoizolacyjność)*. Warunek ten jest spełniony, gdy poziom dźwięku przechodzącego przez przegrodę jest niższy o 5 do 7 dB od poziomu dźwięku odpowiadającego fali ugiętej wokół górnej i bocznej krawędzi ekranu. Od strony źródła hałasu powierzchnię ekranu wykonuje się z materiału dźwięko-

chłonnego. Ekrany akustyczne ustawia się z boku toru lub bliżej źródła hałasu, na międzytorzu. Ten ostatni sposób jest krytykowany, ponieważ utrudnia odśnieżanie i utrzymanie nawierzchni. Ostatnio wprowadza się ekrany wysokości 0,50–0,74 m umieszczane w odległości nie większej niż 1,75 m od osi toru. Wykonuje się je z prefabrykowanych elementów betonowych (fot. 1) lub gabionów. Dzięki niewielkiemu oddaleniu od źródła emisji są skuteczniejsze od tradycyjnych ekranów i umożliwiają zmniejszenie poziomu hałasu nawet o 5 dB(A).



*Fot. 1. Niskie ekrany akustyczne wykonane z elementów betonowych lub gabionów*

Innym rozwiązaniem jest ekranowanie szynki i stopki szyny (fot. 2), a na konstrukcjach mostowych – podpieranie szyn elementami absorbującymi drgania (fot. 3).



*Fot. 2. Ekranowanie szyn*



Fot. 3. Element tłumiący drgania umieszczany pod szyną na moście

#### 4. Podsumowanie

Poziom hałasu w transporcie szynowym, który nie powinien przekraczać 50–65 dB(A), w wielu przypadkach osiąga znacznie większe wartości, co wiąże się ze wzrostem prędkości w ruchu pasażerskim oraz szerszym zastosowaniem nawierzchni bezpodsypekowych, mających mniej korzystne z punktu widzenia emisji drgań charakterystyki mechaniczne.

Skuteczne ograniczenie oddziaływań wibroakustycznych kolei na środowisko umożliwiają rozwiązania konstrukcyjne stosowane zarówno w taborze i nawierzchni, jak i w otoczeniu drogi kolejowej. Są to:

- *Elementy wibroizolacyjne* w nawierzchni, umożliwiające ograniczenie emisji o 4–5 dB(A). Użyte materiały powinny być dostosowane do charakterystyki widmowej drgań generowanych przez pojazdy oraz odznaczać się dobrymi wibro- i dźwiękoizolacyjnymi właściwościami, a także odpornością na zmienne warunki atmosferyczne. Rodzaj wibroizolacji musi być dostosowany do warunków miejscowych – terenu zabudowanego, terenu otwartego, konstrukcji obiektu inżynierskiego.
- *Ekrany akustyczne* zmniejszające hałas o 4–5 dB(A). Powinny one zapewniać dźwiękoizolacyjność na poziomie co najmniej 25 dB oraz dźwiękochłonność co najmniej 5–7 dB. Dla dużych skupisk miejskich należy stosować ekrany w postaci przegród równoległych do linii kolejowej, z ewentualnym zastosowaniem wykładzin dźwiękoizolacyjnych. Ustawianie ekranów akustycznych powinno być ograniczone do miejsc, gdzie hałas przekracza dopuszczalny poziom. W przypadku pojedynczych zabudowań lub niewielkich skupisk mieszkalnych należy wykorzystywać pasy zieleni i nasypy.
- *Zmiany w konstrukcji taboru* zwłaszcza kół oraz systemów hamulcowych.

- *Szlifowanie szyn i reprofilacja obręczy kół* umożliwiające zmniejszenie poziomu hałasu o 5 do 10 dB(A).

Zastosowanie tego zespołu środków ograniczających hałas i drgania mechaniczne pozwala na zmniejszenie poziomu hałasu w transporcie szynowym nawet o 30 dB(A) oraz istotne osłabienie jego oddziaływań wibracyjnych. Ma to istotne znaczenie dla konkurencyjności transportu szynowego, między innymi dzięki obniżeniu jego kosztów zewnętrznych.

## Literatura

- [1] Fabian S., Hecht M., *Innovativer Lärmschutz als Zukunftsaufgabe*. EI-Spezial, Lärmschutz II, nr 9/2012.
- [2] Kawecki J., Stypuła K., *Zapewnienie komfortu wibracyjnego ludziom w budynkach narażonych na oddziaływania komunikacyjne*. Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków 2013.
- [3] Knall V., *Railway Noise and Vibration. Effects and criteria*. Journal of Sound and Vibration 1996, 193 (1).
- [4] Koller G., *Lärmreduktion mit Schienenabschirmung – Feldmessungen*. EI-Spezial, Lärmschutz II, nr 9/2012.
- [5] Michajłow U., *Ochrona środowiska w inwestycjach polegających na budowie i modernizacji linii kolejowych*. Materiały Konferencji SITKom, Zakopane 2008.
- [6] Möhlke J., *Lärmschutz an Schienenwegen*, EI-Spezial. Lärmschutz II, nr 9/2012.
- [7] Möller T., LeDosquet G., Weinert H., *Niedrige Schallschutzwände im Rahmen des Koniunkturprogramms II*. EI-Spezial nr 9/2012.
- [8] PN-88/B-02171. *Ocena wpływu drgań na ludzi w budynkach*.
- [9] Skrzyński E., *Podtorze kolejowe*. KOW, Warszawa 2010.
- [10] Towpik K., *Oddziaływania wibroakustyczne transportu kolejowego na środowisko i sposoby ich ograniczenia*. Problemy Kolejnictwa, zeszyt 130, CNTK, Warszawa 2000.