

Problemy drgań i hałasu pojazdów szynowych

Problem drgań i hałasu jest obecnie jednym z ważniejszych zagadnień związanych ze środkami transportu z jakimi borykają się wszystkie zarządy kolejowe. W artykule przedstawiono analizę stanu dotychczasowych badań w zakresie sposobów redukcji drgań i hałasu generowanych przez kolejowe pojazdy szynowe. Przytoczono również przykładowe wyniki własnych pomiarów hałasu lokomotyw elektrycznych i spalinowych eksploatowanych przez PKP.

1. Wprowadzenie

Pojazdy szynowe należą do najgłośniejszych spośród lądowych środków transportu. Oddziaływania wibroakustyczne powstające w wyniku eksploatacji kolei można podzielić na dwie grupy: drgania mechaniczne i emisję akustyczną. Zjawiska te wpływają ujemnie zarówno na ludzi znajdujących się w pojeździe jak i w bezpośrednim jego otoczeniu. Obserwowany w ostatnich latach wzrost prędkości jazdy oraz nacisków na oś wymusza zintensyfikowanie badań nad rozpoznaniem zjawisk wibroakustycznych pojazdów szynowych oraz zastosowania środków zmierzających do ich redukcji.

Wśród wszystkich negatywnych czynników oddziałujących na środowisko, hałas i drgania nie są zjawiskami nowymi. Są to uciążliwości o powszechnym zasięgu społecznym. Badania dowiodły, że na działanie hałasu i drgań narażonych jest w różnym stopniu około 33% ludności Polski, zarówno w miejscach zamieszkania, pracy i odpoczynku jak też w obiektach służby zdrowia, sanatoriach i ośrodkach wypoczynkowych [6].

Najbardziej uciążliwym, nie pożądanym szczególnie w środowisku zurbanizowanym, stał się hałas emitowany przez pojazdy drogowe, szynowe i lotnicze. Pomimo, że hałas kolejowy jest zjawiskiem zmiennym w czasie i występuje okresowo w momentach przejazdów pojazdów szynowych szacuje się, że zagrożonych nim jest w Polsce około 1 milion osób [11]. Również drgania występujące na kolei charakteryzują się odmienną specyfiką. Podstawowymi cechami drgań, które wyróżniają je od innych dziedzin transportu są [9]:

- rozkład częstotliwości sygnałów przyspieszeń drgań (podstawowa energia drgań zawarta jest w niskim zakresie częstotliwości),
- ogólny niski poziom energii drgań,
- niestacjonarność sygnału przyspieszeń drgań rejestrowanych w trakcie całej podróży.

Od około 30 lat kraje europejskie zajmują się uregulowaniami prawnymi w zakresie hałasu i drgań w transporcie szynowym. Do tej pory nie ma jednak opracowanego jednolitego międzynarodowego prawa i norm ani dla kolei, ani dla producentów taboru kolejowego [7].

2. Badania związane z komfortem jazdy

Drgania, generowane przez pojazdy szynowe, wywierają ujemny wpływ na pasażerów i drużynę trakcyjną, powodując pogorszenie samopoczucia, komfortu jazdy i

zmniejszenie efektywności pracy. Z tego względu niezbędna jest ocena wielkości drgań z punktu widzenia ich oddziaływania na człowieka [12]. Pomiar drgań bez uwzględnienia wrażliwości pasażera na określone częstotliwości i amplitudy drgań jest pomiarem umożliwiającym tylko porównanie różnych konstrukcji lokomotyw i wagonów. Dopiero zastosowanie odpowiednich filtrów korekcyjnych, uwzględniających odczucie pasażera, może umożliwić właściwą ocenę konstrukcji pojazdu pod kątem jego przydatności eksploatacyjnej [9].

Miernikiem oddziaływania drgań i hałasu na organizm człowieka jest komfort podróży, określany zbiorem parametrów drgań na przykład amplitudy, częstotliwości, poziomu hałasu, temperatury, wilgotności powietrza itp. [12]. Komfort jazdy jest kompleksowym odczuciem wywieranym na pasażera przez ruchy pudła pojazdu szynowego, transmitowane na cały organizm przez podłogę, siedzisko i oparcie fotela. Odczucie to może być klasyfikowane jako:

- odczucie średnie: bazujące na drganiach o ciągłej ekspozycji występujących w dłuższym okresie czasu (przynajmniej kilka minut),
- odczucie chwilowe: nagła zmiana średniego odczucia, wynikająca z krótkotrwałych impulsów przyspieszenia (zmiana wartości średniego przyspieszenia poprzecznego, kołysanie przy znacznej prędkości, poprzeczne szarpnięcia z możliwymi oscylacjami) [9].

Prace związane z metodami określania średniego komfortu były prowadzone wspólnie przez koleje europejskie od wielu lat. Na podstawie tych prac przygotowano kartę UIC 513 [18], która zawiera metody obliczeń wskaźników komfortu jazdy (N_{MV} , N_{VA}) na podstawie pomiaru przyspieszeń drgań. Prace dotyczące komfortu chwilowego prowadzone były tylko przez koleje brytyjskie, a więc można stwierdzić, że w chwili obecnej brak jest doświadczeń większości kolei europejskich w metodach obliczania wskaźników komfortu chwilowego.

W roku 1997 wprowadzono normę europejską dotyczącą oceny komfortu podróżowania. W części nieobowiązkowej tej normy określono metody oceny komfortu jazdy w krzywych przejściowych. Jako ocenę procentowej ilości osób niezadowolonych przyjęto wskaźnik P_{CT} . Z uwagi na specyficzną metodykę badań przyjętą dla określania tego współczynnika (jazdy z przyspieszeniami odśrodkowymi w płaszczynie toru $a_{rt} = 1,8 \text{ m/s}^2$) w CNTK przeprowadzono bada-

nia komfortu jazdy w łukach i krzywych przejściowych mające na celu:

- weryfikację metody podanej w w/w normie do warunków PKP, (jazdy z przyspieszeniami odśrodkowymi w płaszczyźnie toru a_{rt} – do $1,0 \text{ m/s}^2$),
- określenie innych parametrów wpływających na odczucie komfortu.

Podstawowym mierzonym sygnałem w tych badaniach było przyspieszenie drgań na pudle wagonu zarówno nad wózkiem jak i w środku wagonu. Ponadto mierzono również takie parametry jak: prędkość kołysania, niezerównoważone przyspieszenie na ramie wózka oraz prędkość jazdy.

Przeprowadzone badania pozwoliły na wysunięcie wniosku, że ocena komfortu w krzywych przejściowych zależy od trzech wielkości [4]:

- modyfikowanego wskaźnika średniego komfortu jazdy N_{VA} (obliczonego dla czasu 5 s od początku krzywej przejściowej),
- prędkości narastania przyspieszenia poprzecznego pudła wagonu (jej wielkości maksymalnej liczonej na bazie 0,1 s),
- prędkości kołysania pudła wagonu (wielkość maksymalna).

Komiteta ORE B153 opracował także inną metodę oceny drgań mechanicznych nazwaną „metodą pośrednią”. Metodę pomiaru drgań polegającą na pomiarze przyspieszeń na siedzisku przyjęto nazywać metodą bezpośrednią. Natomiast metoda pośrednia pomiaru drgań polegała na:

- pomiarze w warunkach laboratoryjnych transmitancji (funkcji przejścia) siedziska,
- pomiarze w warunkach rzeczywistych przyspieszeń wyłącznie na podłodze,
- zastosowaniu funkcji przejścia fotela do obliczania odpowiedzi układu dynamicznego jakim jest siedzisko na wymuszenia, które stanowią pomierzone przyspieszenia na podłodze,
- obliczeniu wskaźników komfortu jazdy lub stopnia szkody oddziaływania drgań na organizm ludzki na podstawie obliczonych wielkości przyspieszeń na siedzisku fotela.

Metoda pośrednia w porównaniu z metodą bezpośrednią wykazuje wiele zalet takich jak:

- możliwość ograniczenia kosztów badań (brak konieczności udziału w badaniach pasażerów),
- możliwość doboru spośród siedzisk oferowanych przez przemysł, fotela o odpowiedniej charakterystyce, bez przeprowadzania badań ruchowych,
- możliwość analizy i syntezy dynamicznego układu siedziska przy użyciu metod symulacji, celem optymalizacji jego charakterystyk.

W ramach prac Komitetu ORE B153 badano możliwość stosowania metody pośredniej w odniesieniu do obliczania wskaźników komfortu. Powodzenie w zastosowaniu tej metody przyczyniłoby się do możliwości zapewnienia na etapie projektowania pojazdu szynowego odpowiednich warunków pracy maszynistów przez optymalny dobór siedziska.

Możliwość stosowania metody pośredniej wymagała spełnienia pięciu podstawowych warunków:

- system dynamiczny pasażer/siedzisko musi być liniowy,

- drgania wymuszone (mierzone na podłodze) oraz odpowiedź układu muszą być stacjonarne,
- wpływ niekontrolowanych ruchów pasażera podczas badań powinien być wyeliminowany,
- charakterystyka dynamiczna fotela musi być reprezentatywna dla wszystkich typów wymuszeń,
- obliczenie komfortu powinno być możliwe na bazie wielkości skutecznej przyspieszeń drgań.

Przystępując do badań nad możliwością stosowania metody pośredniej przyjęto, że cztery pierwsze warunki są spełnione, natomiast ograniczenie piąte jest możliwe do spełnienia pod warunkiem, że wartość skuteczna sygnału dla pięciosekundowych odcinków pomiarowych nie będzie obliczana na bazie gęstości widmowej mocy sygnału, lecz na podstawie jego wartości chwilowych. Wiąże się to z faktem, że estymator gęstości widmowej mocy sygnału dla tak krótkiego odcinka pomiarowego, przy konieczności zachowania rozdzielczości 0,2 Hz, jest obciążony dużym błędem.

W toku prac nad zastosowaniem metody pośredniej okazało się, że metoda ta nie może być stosowana. Porównanie wielkości skutecznych sygnału oraz wskaźników komfortu uzyskanych metodą bezpośrednią i pośrednią wykazywały znaczne różnice.

Mimo braku sukcesu w zastosowaniu metody pośredniej wykryto kilka prawdopodobnych przyczyn powodujących znaczny rozrzut uzyskanych wyników. Zebrane dane pomiarowe oraz ich wnikliwa analiza wykazują, że badane siedziska mają różne charakterystyki dynamiczne. Jest to najprawdopodobniej spowodowane:

- różnym zachowaniem się siedziska w zależności od miejsca jego zamocowania,
- różnym zachowaniem się siedziska w zależności od dokładności wykonania konstrukcji,
- różnym rozdziałem energii pomiędzy badane kierunki.

Chociaż nie stwierdzono nieliniowości siedziska (z wyjątkiem małej liczby przypadków, gdy wykryto nieliniowość dla kierunku wzdłużnego), wykryto, że siedzisko nie zawsze reaguje w ten sam sposób na dokładnie takie same wymuszenie. Możliwość przyjmowania różnych postaci drgań niezależnie od wielkości energii wyjściowej świadczy o fakcie, że dla siedziska można przyjmować różne modele drgań w zależności od warunków początkowych. Prowadzi to do wniosku, że metoda wzbudzania siedziska w laboratorium jest niewłaściwa.

Przeprowadzone badania i analizy wzbogaciły wiedzę o dynamicznych właściwościach siedzisk stosowanych w pojazdach szynowych oraz metodach analizy obiektów wielowojściowych. Doświadczenia te umożliwiły późniejsze badania oraz optymalizację parametrów dynamicznych foteli maszynistów stosowanych w lokomotywach PKP serii ET22, EP09, SM42, EU07 i EN57 pod względem minimalizacji wpływu drgań na organizm ludzki [10].

Od roku 1995 CNTK stosuje metody oceny poziomu drgań mechanicznych wagonów pasażerskich przez badanie wskaźników komfortu jazdy, równolegle dokonując również pomiarów wskaźnika spokojności biegu W_z . Jazdy pomiarowe przeprowadzane są na odpowiednio dobranych odcinkach pomiarowych, które odpowiadają przyszłym warunkom eksploatacji wagonów. Badania przeprowadzono na wago-

nach modernizowanych i nowych. Wagonami modernizowanymi, które poddano badaniom były:

- wagon sypialny typu Görlitz 77 na wózkach Görlitz oraz na wózkach 2SANG,
- wagon salonka typu 111AV na wózkach 4ANH-6,
- wagon dla niepełnosprawnych typu 111Ap-N na wózkach 4ANc,
- wagon osobowy I klasy typu 112An na wózkach 2SAN, a wagonami nowymi:
- wagon I klasy typu Z1 produkcji ABB Henschel na wózkach MD524,
- wagon bezprzedziałowy 150A na wózkach 11ANa.

Modernizowane konstrukcje wagonów pasażerskich, przeznaczonych dla PKP, wykazują akceptowany komfort podróżowania, natomiast konstrukcje nowobudowane przeznaczone do prędkości 200 km/h charakteryzowały się niskimi wartościami przyspieszeń drgań i bardzo dobrym komfortem podróżowania [9].

Ze względu na to, że hałas jest wtórnym efektem drgań mechanicznych i wpływa również znacząco na komfort jazdy konieczna stała się także ocena poziomu hałasu występującego w wagonach i lokomotywach. W przypadku wagonów, przedmiotem badań były pojedyncze egzemplarze następujących wagonów osobowych:

- wagony starszej generacji; sypialne typu Görlitz, wagony I i II klasy (112Am, 111Ar oraz 111Ap-N),
- wagony nowej generacji; UIC-Z1, 150A, 125A, 154A na wózkach SGP300 i 154A na wózkach 25ANa.

Ocenę wyników badań hałasu dla wszystkich typów wagonów przeprowadzono na podstawie obowiązujących norm (PN-92/K-11000, PN-81/N-01306, PN-84/N-01307, ORE 567-1, UIC 553) [2]. Na podstawie badań stwierdzono, że nowe rozwiązania konstrukcyjne wagonów odpowiadają wymaganiom zawartym w normach krajowych i zaleceniach UIC pod względem dopuszczalnego poziomu hałasu, jak i narażenia podróżnych na hałas [2].

W przypadku lokomotyw elektrycznych pomiary hałasu dotyczyły dwóch typów lokomotyw EU-07 i ET-22 oraz elektrycznego zespołu trakcyjnego EN-57. Pomiary wartości skutecznego poziomu ciśnienia akustycznego wykonano podczas typowej pracy eksploatacyjnej zgodnie z normą PN-81/N-01306 [19].

Przeprowadzone badania hałasu elektrycznych zespołów trakcyjnych EN-57 wykazały, że zmierzony równoważny poziom dźwięku był [8]:

- niższy o 8 dB od maksymalnej dopuszczalnej wartości ze względu na ochronę słuchu, wynoszącej 85 dB wg normy PN/N-01307 [20],
- niższy o 1 dB od dopuszczalnej wartości ze względu na możliwość realizacji podstawowych funkcji maszynisty, wynoszącej 78 dB wg normy PN-92/K-11000 [21].

W przypadku badań lokomotyw EU-07 i ET-22 stwierdzono, że równoważny poziom dźwięku był [8]:

- niższy o 9 dB od maksymalnej dopuszczalnej wartości ze względu na ochronę słuchu, wynoszącej 85 dB wg normy PN/N-01307,
- niższy o 2 dB od dopuszczalnej wartości ze względu na możliwość realizacji podstawowych funkcji maszynisty, wynoszącej 78 dB wg normy PN-92/K-11000.

Przeprowadzono własne badania poziomu hałasu panującego na zewnątrz lokomotyw spalinowych i elektrycznych na postoju oraz wewnątrz poszczególnych przedziałów maszynowych. Badania wewnątrz realizowano na postoju, natomiast podczas jazdy pomiary ograniczone zostały tylko do kabiny maszynisty ze względu na obowiązujące przepisy (zakaz przebywania podczas jazdy w przedziałach maszynowych lokomotyw). Podczas pomiarów na postoju załączone były urządzenia pomocnicze lokomotywy. W przypadku lokomotyw spalinowych pomiary wykonywano dla różnych prędkości obrotowych wału korbowego silnika spalinowego. Badaniami objęto podstawowe serie lokomotyw spalinowych i elektrycznych eksploatowanych na PKP. W tabeli 1 przedstawiono wybrane wyniki pomiarów poziomu hałasu na postoju lokomotyw spalinowych, a w tabeli 2 lokomotyw elektrycznych.

Wyniki pomiarów hałasu na postoju wewnątrz poszczególnych przedziałów oraz w kabinach maszynisty wybranych lokomotyw spalinowych

Tabela 1

Seria lokomotywy	Kabina A	Kabina B	Przedział silnika spalinowego	Przedział wentylatorów	Przedział Sprężarki powietrza
SP45	68 dB	72 dB	105 dB	106 dB	91 dB
ST43	79 dB	75 dB	110 dB	102 dB	106 dB

Wyniki pomiarów hałasu na postoju wewnątrz poszczególnych przedziałów oraz kabinach maszynisty wybranych lokomotyw elektrycznych

Tabela 2

Seria lokomotywy	Kabina A	Kabina B	Przedział wysokiego napięcia	Przedział przetwornicy	Przedział aprezarki powietrza
EU07	70 dB	71 dB	92 dB	95 dB	94 dB
ET22	70 dB	70 dB	90 dB	98 dB	99 dB

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że [15]:

- w lokomotywach spalinowych źródłami, które generują hałas o największym poziomie są: silnik spalinowy, sprężarka powietrza i wentylatory główne,
- w lokomotywach elektrycznych głównymi źródłami hałasu są: sprężarka powietrza oraz przetwornica,
- wśród lokomotyw spalinowych eksploatowanych na PKP, lokomotywa serii ST43 charakteryzuje się największym poziomem hałasu (urządzeń oraz w kabinie maszynisty),
- poziom hałasu lokomotyw elektrycznych dwu podstawowych serii lokomotyw eksploatowanych na PKP jest na takim samym poziomie,
- podczas jazdy poziom hałasu w kabinie maszynisty lokomotyw elektrycznych jest na granicy poziomu dopuszczalnego (78 dB), natomiast w przypadku lokomotyw spalinowych jest przekroczony.

3. Badanie drgań zespołów pojazdów szynowych

Występująca podczas toczenia się koła po szynie, zmienność obciążenia strefy styku jest wywołana nie tylko przez zaburzenia podstawowego ruchu pojazdu, ale także jako

skutek wzbudzenia przez te zaburzenia wysokoczęstotliwościowych drgań koła i szyny [5]. Drgania o wysokich częstotliwościach wpływają przede wszystkim na zużycie elementów biegowych wagonów, wywołując tak niepożądane zjawiska jak hałas oraz wpływają bezpośrednio na stan techniczny układów biegowych i toru. Z punktu widzenia pasażera drgania o wysokiej i średniej częstotliwości są o wiele mniej istotne od drgań niskoczęstotliwościowych [9].

W celu dokonania klasyfikacji tego rodzaju drgań została wykonana na torze próbnym w Cehenice-Valin Czeskich Kolei Państwowych (CD) doświadczalna ocena wielu typów kół i zestawów kołowych [17].

W trwających wiele lat badaniach przeprowadzono doświadczalną ocenę ponad 40 rozmaitych kół z tłumikiem i bez tłumika, jak również kilka typów zestawów kołowych. Badaniu i ocenie podlegały:

- przebieg funkcji przenoszenia (transmitancji) w zależności od kierunku wzbudzenia,
- wartości częstotliwości drgań własnych, wartości inertancji i wartości tłumienia modalnego,
- wartości mobilności w odróżnieniu od oddziaływania akustycznego,
- postaci drgań kół i zestawów kołowych badane za pomocą analizy modalnej,
- przenoszenie drgań z zestawu kołowego na obręcz koła i maźnicę,
- przenoszenie drgań wewnątrz zestawów kołowych między obręczami kół obydwu zestawów kołowych.

Badania eksploatacyjne wykonano na wagonie zbiornikowym Zans-93 m³. Celem zasadniczym pomiarów było ustalenie wartości przyspieszeń na obręczy koła w kierunku osiowym i radialnym. Piezoelektryczne czujniki przyspieszeń zamocowane były bezpośrednio na obręczy koła, a przeniesienie wartości pomiarowych zapewnione było za pomocą telemetrycznego nadajnika ułożonego na piaście koła. Pomiary wykonano na odcinku prostym toru, łuku o promieniu 1380 m i podczas hamowania (do badań użyto żeliwnych klocków hamulcowych). Z przeprowadzonych badań wysunięto następujące wnioski:

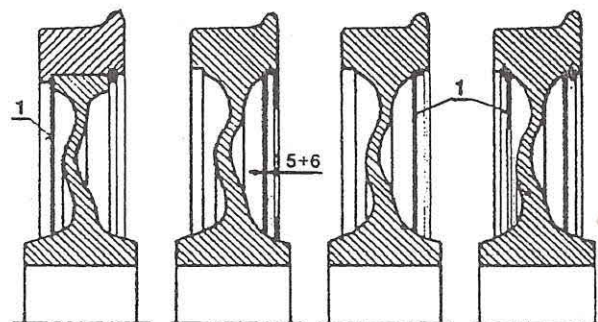
- drgania obręczy koła w kierunku osiowym są znacznie wyższe od drgań w kierunku radialnym,
- widmo częstotliwości drgań obręczy w kierunku radialnym odpowiada pod względem częstotliwości otrzymanych w badaniach doświadczalnych częstotliwościom drgań własnych koła,
- widmo częstotliwości drgań obręczy koła w kierunku osiowym zbliżone jest bardzo do doświadczalnie stwierdzonych częstotliwości drgań własnych koła i osi zestawu,
- przy wszystkich badaniach kół z tłumikiem, maksimum prędkości drgań rezonansowych było niższe w kierunku osiowym,
- w kierunku radialnym nie zauważono znaczącego oddziaływania tłumika,
- największe przyspieszenia drgań występują przy drganiach obręczy koła w kierunku osiowym, na które oddziałują drgania przenoszone przez oś zestawu,
- prędkość jazdy zwiększa znacznie prędkość i przyspieszenie drgań,

- podczas procesu hamowania, poprzez oddziaływanie klocków żeliwnych na powierzchnię jezdnią, zwiększają się parasolowate drgania kół.

Przeprowadzone badania eksploatacyjne dowiodły, że największe przyspieszenie drgań obręczy koła powodowane jest przez drgania zginające oś zestawu, a w najmniejszym stopniu poprzez parasolowate drgania kół [17].

Emisja dźwięku, powodowana dynamicznymi drganiami tocących się po torach kół, wzrasta ze wzrostem prędkości jazdy, a wraz z nią rośnie uciążliwość hałasu. W konstrukcji pojazdów szynowych przewidzianych do dużych prędkości jazdy dąży się do zmniejszenia ich masy, aby naciski zestawów kołowych na tor w pojazdach trakcyjnych nie przekraczały 170 kN, a w wagonach 160 kN. Dąży się też przy tym do zmniejszenia mas nieusprężynowanych, do których należą przede wszystkim zestawy kołowe. Możliwość zmniejszenia średnic kół jest ograniczona względami konstrukcyjnymi i wzrostem nacisków jednostkowych w strefie styku koła z szyną. Podyktowane względami wytrzymałościowymi stosowanie niedużych grubości i kształtów przekrojów tarcz kół, zwłaszcza wagonów pasażerskich, zwiększają niekorzystną podatność dynamiczną, natomiast zwiększenie sztywności dynamicznej kół przez wprowadzenie tarcz o nadmiernej grubości i zwiększenie średnic osi spowodowałoby niepożądany wzrost masy zestawu kołowego i zarazem mas nieusprężynowanych.

Wobec tych przeciwnych wymagań, możliwość zmniejszenia hałasu toczenia uzyskuje się przez zabudowę w kołach pierścieniowych tłumików pochłaniających dźwięk. Część energii drgań, zwłaszcza w obręczy lub wieńca koła jest przenoszona na tłumik, w którym zostaje rozproszona i zamieniona na ciepło. Na rysunku 1 przedstawiono przykładowe przekroje kół z zabudowanymi tarczami tłumiącymi hałas [13].

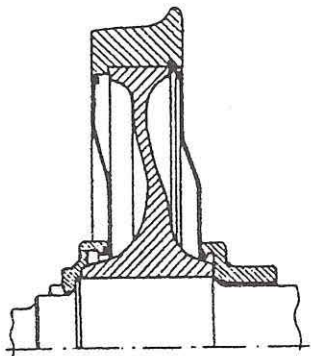


Rys. 1. Przekroje kół z zabudowanymi tłumikami hałasu [13]
1 – tarcze tłumiące hałas

Kolejnym przykładem tłumienia hałasu generowanego przez koła jest zastosowanie fartuchów osłonowych wózków, wykonanych z blach aluminiowych o grubości 3 mm, pokrytych od strony wewnętrznej warstwą pianki gumowej. Dolne krawędzie fartuchów w badaniach znajdowały się na wysokości 140 mm nad powierzchnią główki szyn. W toku dalszych prób fartuchy te, uszczelniono w połączeniu wózków z nadwoziem dodatkowo gumowymi osłonami, które sięgały wysokości 50 mm nad główką szyny. Fartuchy osłonowe okazały się jednak mało skuteczne, gdyż osiągnięto zmniejszenie hałasu o około 2 dB, przy czym ich konstrukcja

z wielu względów nie nadawała się do stosowania w normalnej eksploatacji.

W porównaniu z osłonami wózków, bardziej celowe okazały się blaszane tarczowe osłony kół (rys. 2) umieszczone po obu stronach tarczy koła, przyklejone do wieńca i piasty koła przy użyciu ciągliwego tworzywa sztucznego. Blaszane osłony o grubości kilku milimetrów były dodatkowo pokryte warstwą dźwiękochłonnej pasty. Rozwiązanie to umożliwiło zmniejszenie hałasu powyżej 2 dB,



Rys. 2. Koło z blaszaną tarczową osłoną [14]

W pojazdach trakcyjnych napędzanych silnikami elektrycznymi osadzonymi w wózkach, a więc usprężynowanymi względem zestawów kołowych, zastosowanie tego rodzaju tarcz osłonowych jest praktycznie niemożliwe ze względu na konieczność łączenia elementów układu napędowego z kołami przez podatne sprzęgła ciągnowe.

Jak wykazały badania, ze względu na tłumienie hałasu korzystne są koła o małych średnicach z tarczami prostymi, a nie w kształcie litery S, stosowanymi szeroko w klasycznych kołach wagonowych. Proste tarcze powinny być usytuowane symetrycznie względem wieńca i piasty koła. Gdyby grubość tarczy była równa grubości wieńca, co ze względu na znaczny wzrost masy koła (jako masy nieusprężynowanej) jest nie do przyjęcia, to poziom hałasu zmniejszyłby się o około 20 dB [14].

4. Badania związane z oddziaływaniem drgań na otoczenie

Drgania mechaniczne wzbudzone przejazdami pociągów (w szczególności siłami dynamicznymi na styku koła z szyną) są przekazywane podtorzu i podłożu gruntowemu. Następstwem tego jest propagacja drgań na obiekty inżynierskie oraz budynki znajdujące się w sąsiedztwie toru.

Częstotliwości drgań mechanicznych wywołanych ruchem kolejowym w pobliżu toru mieszczą się w granicach 3÷40 Hz. Przyczyny powstawania drgań mogą być natury konstrukcyjnej (np. praca elementów wirujących), technologicznej (np. owalizacja kół, niedokładności montażu), jak również natury eksploatacyjnej (odkształcenia i zużycia elementów nawierzchni i toru).

Energia przekazywana przez jadący pociąg jest częściowo pochłaniana przez elementy konstrukcyjne nawierzchni kolejowej, a częściowo przenika do podłoża przenosząc się na obiekty znajdujące się w otoczeniu toru. Jest to

powodem wtórnego wzbudzenia drgań mechanicznych oraz emisji akustycznej [3, 16].

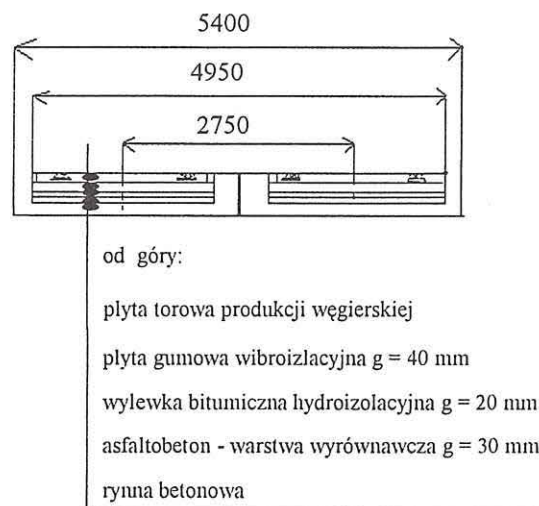
Wibroizolację nawierzchni kolejowej uzyskuje się przez zastosowanie środków ograniczających drgania w konstrukcji nawierzchni, przede wszystkim na odcinkach toru znajdujących się w pobliżu terenów zurbanizowanych, na dworcach, przystankach i obiektach inżynierskich (mostach, wiaduktach oraz tunelach), jak również wszędzie tam, gdzie konstrukcję nawierzchni charakteryzuje zwiększona sztywność.

Najczęściej stosowane rozwiązania ograniczające drgania nawierzchni to:

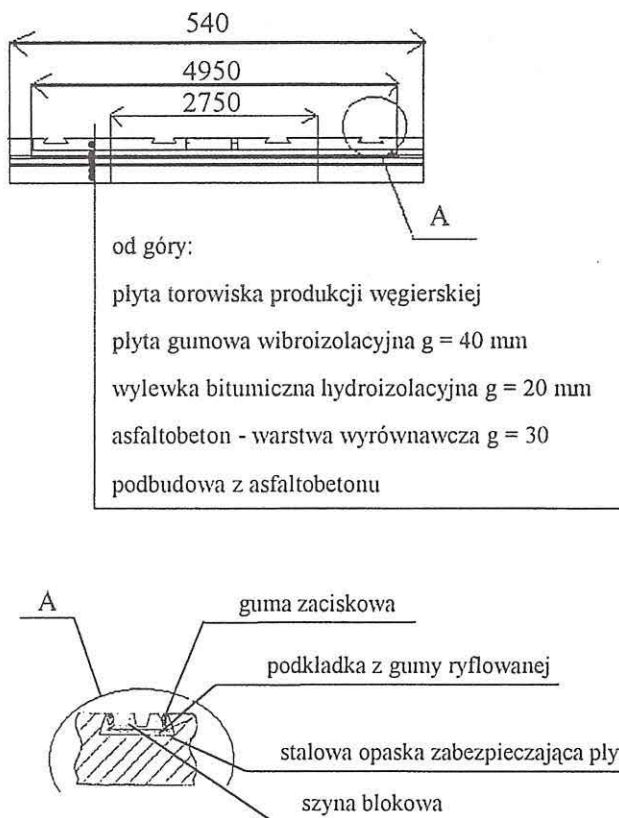
- maty z tworzywa sztucznego wkładane pod warstwę podsypki,
- wykładziny i wkładki tłumiące drgania z betonów porowatych, tufów wulkanicznych i tworzyw sztucznych,
- wkładki sprężyste z tworzyw, otuliny gumowe szyn i innych stalowych elementów nawierzchni.

Ograniczeniu drgań w nawierzchni służą również warstwy stanowiące ochronę antywibracyjną torowiska, układane pod podsypką w postaci geowłóknin i geosiatek oraz płyt gumowych. Bardzo skutecznym, lecz kosztownym rozwiązaniem antywibracyjnym jest układanie elementów będących rodzajem oscylatora harmonicznego o niewielkiej częstotliwości drgań własnych (tzw. floating-slab-system). Tego rodzaju elementy, o masie od 4000 do 9000 kg i częstotliwości drgań własnych od 5 do 7 Hz, są stosowane w tunelach i w konstrukcjach nawierzchni niekonwencjonalnych [16].

Zagadnieniami ograniczania wpływu drgań i hałasu na środowisko zajmowała się również Katedra Mechaniki i Wibroakustyki AGH w Krakowie. Opracowano tam koncepcje wibroizolowanych torowisk kolejowych i tramwajowych zarówno tradycyjnych, jak i z płytą węgierską, posadowionych na perforowanych płytach gumowych, których schematy konstrukcyjne przedstawiono na rysunkach 3 i 4.



Rys. 3. Torowisko z płytą węgierską na wibroizolacji [1]



Rys. 4. Torowisko z płytą na wibroizolacji w rynnicy [1]

Przeprowadzone badania wykazały, że skuteczność wibroizolowanych podtorzy jest znaczna i pozwala na ograniczenie oddziaływań dynamicznych o 60% oraz zmniejszenie emisji hałasu o ok. 8 dB. Zaletą tych torowisk jest ich duża trwałość, wg doświadczeń węgierskich powyżej 25 lat, a remont polegający na wymianie szyn blokowych co 8÷10 lat na odcinku 500 m można przeprowadzić w ciągu kilkunastu godzin.

W przypadku podtorza przedstawionego na rysunku 4 istnieje możliwość jego wykonania poza obszarem remontowanego odcinka (u producenta) a następnie przewiezienie i posadowienie na odpowiednio przygotowanym podtorzu. Jedyną wadą wibroizolowanych torowisk jest ich koszt, który wynika z ceny materiału [1].

5. Podsumowanie

Do niedawna zagadnienia związane z negatywnym wpływem drgań i hałasu były traktowane w Polsce jako problem mało istotny. Integracja Polski z Unią Europejską, włączanie do ogólnoeuropejskiej sieci dużych prędkości oraz zwiększanie zdolności przewozowej wymuszają potrzebę dostosowania infrastruktury kolejowej i taboru do standardów narzuconych przez Unię.

Dotychczas prowadzone prace badawcze dotyczyły głównie określania stanu technicznego istniejącego taboru – głównie pod względem zgodności z istniejącymi normami.

W zrealizowanych dotychczas w Polsce pracach badawczych zauważa się brak badań takich jak:

- określenie drgań i hałasu zespołów pracujących w lokomotywach spalinowych i elektrycznych,

- kompleksowych badań związanych z określeniem poziomu drgań i hałasu w przedziale maszynisty lokomotyw elektrycznych i spalinowych,
- wzrost prędkości oraz ciężaru pociągów towarowych wymusza zintensyfikowanie prac dotyczących oddziaływania drgań na grunt,
- ze względu na to, że hałas pojazdów szynowych nie dotyczy tylko pasażerów i obsługi, ale również ludzi mieszkających w pobliżu szlaków kolejowych, należałoby podjąć działania zmierzające do jego redukcji oraz wprowadzenia systemu monitoringu linii o dużym natężeniu ruchu.

Podejmowane działania w celu zmniejszenia hałasu i drgań kolejowych środków transportu powinny zmierzać w pierwszej kolejności do identyfikacji stanu istniejącego, określenia środków zapobiegawczych, opracowania norm, które odpowiadałyby stawianym w tym kierunku wymaganiom a następnie wprowadzania nowych rozwiązań technicznych i konstrukcyjnych.

Realizacja programu ochrony środowiska przed ujemnym wpływem hałasu i drgań jest niezmiernie trudna do realizacji nie tylko pod względem wprowadzania nowych technologii i rozwiązań konstrukcyjnych ale także prowadzenia badań i związanych z tym dużych nakładów finansowych.

Literatura

- [1] Adamczak J., Twargosz J.: *Zabezpieczenia antywibracyjne i hałasowe nawierzchni kolejowej. Międzynarodowa Konferencja RAILWAY NOISE'99*, Warszawa 13-14.05.1999.
- [2] Bracha K., Groll W., Rżysko J.: *Hałas słyszalny w pasażerskim taborze kolejowym. Stan aktualny. Metody badań i oceny. Międzynarodowa Konferencja RAILWAY NOIS'99*, Warszawa 13-14. 05. 1999.
- [3] Czarnecki M., Osuch K., Groll W., Sucholski J., Lasowski M., Bystydzieński D., Białoń A.: *Ochrona środowiska w bezpośrednim otoczeniu kolei. Prace Centrum Naukowo-Technicznego Kolejnictwa, Zeszyt 105* Warszawa 1992.
- [4] Chudzikiewicz A., Groll W.: *Metoda oceny komfortu jazdy w łukach i krzywych przejściowych. XV Konferencja Naukowo-Techniczna POJAZDY SZYNOWE'2002, Szklarska Poręba 4-7.09.2002.*
- [5] Dżuła S.: *Dynamika zestawu kołowego w zakresie średnich i wysokich częstotliwości. Technika Transportu Szynowego 2/1998.*
- [6] Engel Z.: *Ochrona środowiska przed drganiem i hałasem*. Wyd. PWN, Warszawa 2001.
- [7] Gąsowski W.: *Problemy polskich pociągów dużej prędkości. XII Konferencja Naukowa „POJAZDY SZYNOWE'96”* Poznań – Rydzyna 21-24.10.1996.
- [8] Grabarek I., Bogdanow Ch.: *Wybrane problemy środowiska materialnego w kabinie maszynisty lokomotywy elektrycznej. Przegląd Kolejowy 10/1998.*
- [9] Groll W.: *Badania wibracji wagonów pasażerskich. Przegląd Kolejowy. 8/1999.*
- [10] Groll W.: *Pośrednia metoda wyznaczania komfortu jazdy i stopnia narażenia zdrowia na drgania. Prace Centrum Naukowo-Technicznego Kolejnictwa, Zeszyt 106/1993.*

- [11] Kucharski R. J.: *Stan klimatu akustycznego w kraju w świetle badań WIOŚ. Biblioteka Monitoringu Środowiska*, Warszawa 2002.
- [12] Marciniak J.: *Ocena narażenia organizmu na drgania podczas jazdy wagonem kolejowym. Przegląd Kolejowy* 3/1999.
- [13] Romaniszyn Z.: *Nowoczesne rozwiązania konstrukcyjne ograniczające skutki drgań w układzie kołoszyzna w pojazdach do dużych prędkości i dla linii górskich. Technika Transportu Szynowego* 4/2000.
- [14] Romaniszyn Z.: *Wpływ konstrukcji normalnotorowych pojazdów szynowych na ich współdziałanie z torem. Technika Transportu Szynowego* 6-7/1995.
- [15] Tomaszewski F.: *Badania i ocena poziomu hałasu generowanego przez pojazdy szynowe. Zeszyty Naukowe Politechniki Poznańskiej, Seria Maszyny Robocze i Pojazdy*, Nr 52/2001.
- [16] Towpik K.: *Oddziaływania wibroakustyczne transportu kolejowego na środowisko i sposoby ich ograniczenia. Problemy Kolejnictwa* 131/2000.
- [17] Volf B., Ondrauch J.: *Doświadczalna i eksploatacyjna ocena jakości dynamicznych właściwości kół kolejowych i zestawów kołowych. Technika Transportu Szynowego* 4/1998.
- [18] *Karta UIC 513 Wytyczne oceny komfortu jazdy pasażera w pojazdach szynowych pod względem oddziaływania drgań*, Wyd. 1, 1.07.1994.
- [19] *PN-81/N-01306 Hałas. Metody pomiaru. Wymagania ogólne*.
- [20] *PN-N-01307: 1994 Hałas. Dopuszczalne wartości hałasu w środowisku pracy. Wymagania dotyczące wykonywania pomiarów*.
- [21] *PN-92/K-11000 Tabor kolejowy. Hałas. Ogólne wymagania i badania*.