

**Roksana Licow, Jakub Polasik,
Franciszek Tomaszewski, Konrad Waluś**

Wydział Maszyn Roboczych i Transportu, Politechnika Poznańska
Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska, Politechnika Gdańska

PODSTAWY TEORETYCZNE ZJAWISK WIBROAKUSTYCZNYCH WYSTĘPUJĄCYCH NA PRZEJAZDACH KOLEJOWO – DROGOWYCH

Rękopis dostarczono: kwiecień 2016

Streszczenie: Poziom zjawisk wibroakustycznych generowanych przez pojazdy samochodowe i kolejowe do środowiska jest zależny od wielu czynników. Są nimi np.: typ/rodzaj opon i nawierzchni, opór aerodynamiczny, konstrukcja pojazdu i jego stan techniczny. Dodatkowo impulsy dźwiękowe mogą pochodzić od uderzeń opon w znajdujące się na drodze przeszkody i infrastrukturę drogową. Do infrastruktury drogowej mającej wpływ na poziom emitowanych zjawisk wibroakustycznych należy zaliczyć przejazdy kolejowo – drogowe. W pracy scharakteryzowano nawierzchnie występujące na przejazdach kolejowo – drogowych oraz zaprezentowano wyniki pomiarów poziomu hałasu wewnątrz pojazdów szynowych podczas ich przejazdu przez skrzyżowanie drogi kołowej z kolejową. Przedstawiono również metodykę pomiarów wartości przyspieszeń pionowych przekazywanych na karoserię samochodu podczas pokonywania przeszkody stałej.

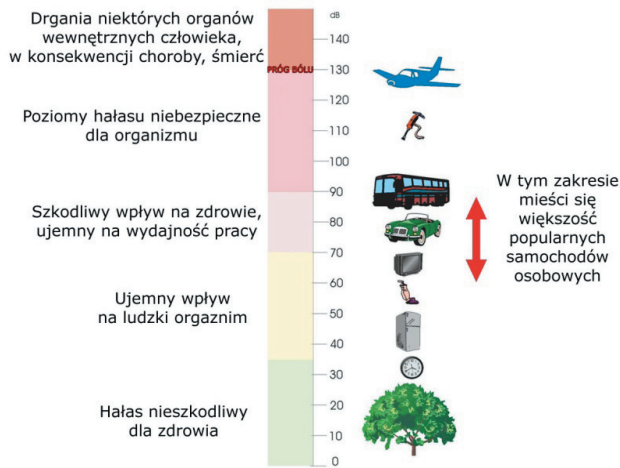
Słowa kluczowe: przejazdy kolejowo – drogowe; drgania; hałas

1. WSTĘP

Zjawiska wibroakustyczne uznawane są za jeden z poważniejszych problemów obniżających jakość życia w Europie. Największym źródłem drgań i hałasu jest przemysł oraz transport. Przykładowe poziomy dźwięku wraz z opisem skutków jakie powodują przedstawiono na rysunku 1.

Nadmierna ekspozycja organizmu człowieka na hałas oddziałuje destrukcyjnie zarówno na narząd słuchu jak i układ nerwowy czy organy wewnętrzne. Ryzyko utraty słuchu wzrasta wraz ze wzrostem równoważnego poziomu dźwięku. Skutki działania hałasu zależą od dawki energii akustycznej przekazanej do organizmu w określonym przedziale czasu.

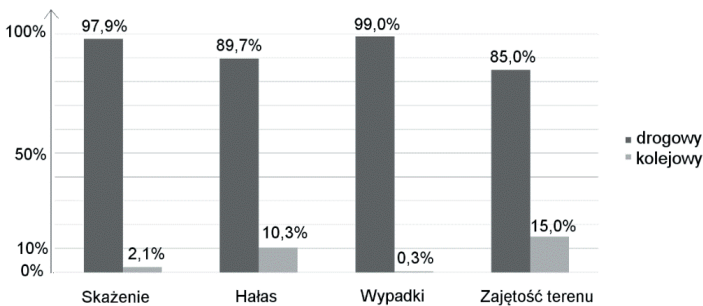
Dodatkowo do negatywnych zjawisk wibroakustycznych należy energia wibracyjna, która w zależności od miejsca wnikania do ustroju, może wywoływać różne symptomy rozwijających się zmian chorobowych. Niekorzystny wpływ drgań może, objawiać się po przez napadowe skurcze naczyń, zaburzenia czucia czy zmiany dystroficzne mięśni.



Rys. 1. Przykładowe wartości poziomów hałasu
 Źródło: Witkowski Sz. Metody aktywnej redukcji hałasu

Na co dzień jesteśmy narażeni na drgania i hałas pochodzący z różnych źródeł. W ośrodkach miejskich zjawiska wibroakustyczne potęgowane są poprzez układ transportowy miasta oraz przemysł. Rozwijająca się infrastruktura drogowa i kolejowa jest przyczyną powstawania większej ilości skrzyżowań typu tor – droga. Skrzyżowania te dla samochodów mogą być traktowane jako przeszkody poprzeczne. Ze względu na zróżnicowany stopień wyeksploatowania nawierzchni na przejazdach poruszanie się po niej może prowadzić do zwiększenia emisji nieprzyjemnych dla środowiska dźwięków wynikających z uderzania opon w szyny kolejowe.

Na rysunku 2 przedstawiono poziom zanieczyszczeń emitowanych przez środki transportu kolejowego i drogowego do środowiska naturalnego. Emisja zanieczyszczeń w przypadku transportu kolejowego jest zdecydowanie niższa, niż w przypadku transportu drogowego, który odpowiedzialny jest za 80 [%] ogólnych zanieczyszczeń [12].



Rys. 2. Zanieczyszczenia środowiska powodowane przez transport drogowy i kolejowy [9]

Skażenie i wypadki są zagrożeniami losowymi, nad którymi ciężko jest bezpośrednio zapanować, są wynikiem wzrostu liczby pojazdów oraz zawodnego (nieodpowiedzialnego) działania czynnika ludzkiego. Zagrożenie, jakim jest zajętość terenu jest zagrożeniem częściowo przez człowieka kontrolowanym chociażby przez normy na temat usytuowania poszczególnych obiektów np. w obszarach Natura 2000. Hałas jest jedynym z wymienionych zagrożeń, który można zredukować używając odpowiednich narzędzi. Stąd celowe jest zajęcie się zagadnieniami wibroakustycznymi ze względu na ich destrukcyjny wpływ m.in. na zdrowie człowieka i stan infrastruktury.

2. CHARAKTERYSTYKA PRZEJAZDÓW KOLEJOWO – DROGOWYCH I PRZEJŚĆ

W myśl Rozporządzenia przejazdem kolejowo – drogowym jest skrzyżowanie, inne niż przejście. Przejściem określono skrzyżowanie w jednym poziomie przeznaczone wyłącznie dla ruchu pieszego, rowerowego lub pieszego i rowerowego. Dokumentem ustanawiającym klasyfikację i położenie przejazdów kolejowo – drogowych w Polsce jest Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 20 października 2015 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać skrzyżowania linii kolejowych oraz bocznic kolejowych z drogami i ich usytuowanie [7].



Rys. 3. Przejazd kat. A (po lewej) i przejazd kat. B (po prawej) na linii nr 213 Reda – Hel [10]

Na sieci linii kolejowych w Polsce według Rozporządzenia można wyróżnić sześć kategorii przejazdów kolejowo – drogowych:

- A (rys. 3.),
- B (rys. 3.),
- C,
- D,
- E – przejście publiczne,
- F – przejazd kolejowo – drogowy lub przejście użytku prywatnego.



W związku z modernizacją dróg kolejowych i zwiększaniem prędkości przejazdowych, inwestorzy coraz częściej wybierają rozwiązanie budowy skrzyżowania dwupoziomowego na rzecz zamknięcia istniejącego w poziomie szyn [7, 10].

2.1. RODZAJE NAWIERZCHNI WYSTĘPUJĄCYCH NA PRZEJAZDACH KOLEJOWO – DROGOWYCH

Przejazdy kolejowo-drogowe w Polsce można sklasyfikować między innymi ze względu na rodzaj nawierzchni z jakiej są zbudowanej. Na nawierzchnie przejazdów z płyt betonowych stosowane są następujące płyty:

- płyty typu CBP;
- płyty typu Mirosław;
- płyty z ukształtowanymi przestrzeniami na toki szynowe typu LCL występujące w trzech wariantach wielkości.

Na przejazdach kolejowych w Polsce, w szczególności jeśli są to przejazdy tramwajowe, do ich budowy wykorzystuje się płyty gumowe typu STRAIL. Warianty płyt typu STRAIL są następujące:

- system Premium;
- system Velo;
- system Ponti;
- system Pede;
- system Inno.

Obecnie na sieci Polskich Linii Kolejowych dąży się do modernizacji istniejących nawierzchni i wymianę ich na połączenie dwóch nawierzchni: płyt Mirosław oraz lanego asfaltu. W tym rozwiązaniu zostaje zastosowana płyta wewnętrzna Mirosław natomiast zewnętrzne strony przejazdu od główki szyny zostają zalane asfaltem.

Płyty typu CBP

Płyty żelbetowe nawierzchni drogowej typu CBP są powszechnie stosowanym materiałem na skrzyżowaniach drogowo – kolejowych w Polsce. Przejazd z płyt typu CBP składa się z dwóch rodzajów płyt przejazdowych: płyty wewnętrznej oraz płyty zewnętrznej. Płyta wewnętrzna zostaje zamontowana w przestrzeni między szynowej, natomiast płyta zewnętrzna po zewnętrznej stronie toków szynowych. Płyta zewnętrzna łączy się z nawierzchnią drogową bądź z sąsiednią płytą zewnętrzną w przypadku przejazdów wielotorowych.

Płyty typu CBP mają wiele zalet. Główne z nich to przede wszystkim brak zbędnych mocowań, dość prosty montaż i niska cena. Jednak przy nieodpowiednim montażu, w trakcie eksploatacji przejazdu istnieje możliwość przesunięcia płyt w płaszczyźnie poziomej czyli tzw. klawiszowanie płyt [3].

Płyty typu Mirosław

Przejazd typu Mirosław charakteryzują płyty małogabarytowe podobne w swej budowie do płyt CBP. Nawierzchnia z płyt typu Mirosław stosowana jest na skrzyżowaniach drogi kolejowej z kołową lub przejściem (kategoria E). Przejazd ten może być stosowany na liniach jedno lub wielotorowych przy zachowaniu odstępu minimalnego między osiami sąsiednich torów wynoszącego 4 m. Konstrukcja płyt Mirosław wewnętrznych i zewnętrznych



jest w sposób trwały połączona z torami za pomocą sprężystego zawieszenia płyt przejazdowych opartych na stopkach szyn za pomocą amortyzatorów polimerowych. Dzięki temu zastosowaniu położenie względem siebie szyn i płyt przejazdowych w trakcie eksploatacji nie powinno ulec zmianie. Płyty wewnętrzne i płyty zewnętrzne na całkowitej swojej długości z każdej strony obramowane są kątownikiem stalowym.

Płyty typu Mirosław sprawdzają się przy ostrych kątach przejazdów kolejowo – drogowych do osi drogi wynoszących mniej niż 90°. Znajdują również zastosowanie na przejazdach o dużych obciążeniach na oś. W porównaniu do płyt CBP nie klawiszują i nie przesuwają się. Główną wadą płyt typu Mirosław jest kłopotliwy montaż i demontaż tych płyt [3].

Przejazd z płyt prefabrykowanych z ukształtowanymi przestrzeniami na toki szynowe

Wielkogabarytowa prefabrykowana płyta żelbetowa jest konstrukcją stosowaną na przejazdach kolejowo – drogowych i przejściach. Przy jej zastosowaniu na przejeździe nie występuje podsypka. Elementem mocującym szynę w kanale szynowym jest system szyny w otulinie. Płyta prefabrykowana z ukształtowanymi przestrzeniami na toki szynowe występuje w trzech wariantach:

- LCL3- długość płyty 3 m, łuk równy bądź większy niż 350 m;
- LCL4- długość płyty 4 m, łuk równy bądź większy niż 400 m;
- LCL6- długość płyty 6 m, łuk równy bądź większy niż 850 m.

Nawierzchnia kolejowa z płyt prefabrykowanych znajduje szczególne zastosowanie na przejazdach eksploatowanych przez bardzo ciężki ruch kolejowy i ciężarowy. Dopuszczalny nacisk pojazdu szynowego na oś wynosi 221 kN, zaś pojazdu drogowego- 140 kN. Przejazd zbudowanych z płyt LCL ma wiele zalet, do których należą krótki czas montażu, brak deformacji szyn w takim przejeździe, redukcja wibracji oraz niskie koszty utrzymania. Do wad można zaliczyć problemy, które często pojawiają się w strefie przejściowej pomiędzy płytą LCL (przejazdem) a nawierzchnią drogową [2].

Przejazd typu STRAIL

Przejazd typu STRAIL zbudowany jest z gumowych płyt, odpowiednio dobranych do panującego obciążenia na przejeździe.

Każdy system płyt typu STRAIL różni się od siebie budową, wymiarami oraz dopuszczalnym obciążeniem. Systemem Premium nadający się przede wszystkim na przejazdy kolejowo – drogowe o dużym natężeniu ruchu pojazdów każdej kategorii. System Velo jest to system nieposiadający rowka szyny. Taki przejazd znajduje zastosowanie przede wszystkim w miejscach gdzie występuje duże natężenie ruchem pieszych, czyli na przejściach kategorii E. System Velo ze względu na brak obecności rowka szyny według polskiego prawa nie został dopuszczony do eksploatacji. System Ponti znalazł zastosowanie na przejazdach o bardzo dużych obciążeniach na oś. Płyta w tym systemie jest wykonana z dwóch materiałów: gumy i aluminium i opiera się w całości na podkładach kolejowych. System Pede został stworzony z myślą o pieszych i rowerzystach. System Pede w Polsce montowany jest na przejazdach kategorii E. Ostatni z systemów, System Inno przez producenta został nazwany wyjątkowo ekonomicznym systemem, jednak w praktyce jest modyfikacją systemu Premium. Płyty w tym systemie mają większe wymiary oraz są wzmocnione włókniną w obszarze połączeń pióro – wpustów. Wszystkie płyty w wymienionych wyżej systemach są produkowane z gumy nowej oraz surowców wtórnych. Do zalet tych przejazdów należy przede wszystkim długotrwała żywotność z reguły 15 lat. Wszystkie zalety przejazdu są dostrzegane w eksploatacji jedynie po prawidłowym ułożeniu płyt oraz odpowiednim dostosowaniu do panujących obciążeń na przejeździe. Płyty typu STRAIL bardzo często ulegają



wypiętrzeniu, deformacji, wgnieceniu płyt wewnętrznych, skałeczeniu, zarysowaniu, klawiszowaniu czy rozsuwaniu się płyt. Dodatkowo w systemie STRAIL zauważane są częste wykruszenia płyt [13].

3. HAŁAS NA PRZEJAZDACH KOLEJOWO-DROGOWYCH

3.1. NORMY I PRZEPISY DOTYCZĄCE DRGAŃ I HAŁASU

Aktem prawnym odnoszącym się do ochrony środowiska w Polsce jest ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. Prawo Ochrony Środowiska, na podstawie której określono obowiązek wykonywania okresowej oceny stanu akustycznego środowiska jak również wyznaczono dopuszczalne poziomy hałasu w środowisku (Obwieszczenie Ministra Środowiska z dnia 15 października 2013 r. poz. 112).

Dokumentem nadrzędnym jest Rozporządzenie Komisji (UE) NR 1304/2014 w sprawie technicznych specyfikacji interoperacyjności podsystemu „Tabor kolejowy – hałas”.

Dodatkowo do norm w zakresie oceny hałasu związanej z dopuszczeniem pojazdów szynowych do eksploatacji należą:

- PN – EN ISO 3095 Kolejnictwo. Akustyka. Pomiar hałasu emitowanego przez pojazdy szynowe.
- PN – EN ISO 3381 Kolejnictwo. Akustyka. Pomiar hałasu wewnątrz pojazdów szynowych.

Natomiast najważniejszymi dokumentami, dotyczącymi badań pojazdów i maszyn ze względu na zagrożenie środowiska hałasem są:

- ISO 7188 Akustyka. Pomiar natężenia hałasu emitowanego przez nieporuszające się pojazdy. Metoda kontroli.
- 199/101/EC Warunki badań poziomu natężenia hałasu zewnętrznego pojazdu.

Do najważniejszych polskich norm związanych z emisją hałasu drogowego należą:

- PN-81/N-01306 Hałas. Metody pomiaru. Wymagania ogólne.
- PN-90/S-04052/04051 Pojazdy samochodowe i motorowery. Dopuszczalny poziom hałasu zewnętrznego. Wymagania i badania.
- PN-92/S-04051 Pojazdy samochodowe. Dopuszczalny poziom hałasu wewnętrznego. Wymagania i badania.

Dodatkowo w Regulaminie Europejskiej Komisji Gospodarczej ONZ Nr. 117 [6] zdefiniowano przepisy dotyczące homologacji opon w odniesieniu do emisji hałasu toczenia i przyczepności.

3.2. ŹRÓDŁA HAŁASU I DRGAŃ

Do głównych źródeł zanieczyszczeń środowiska należą: przemysł (m.in. energetyka, górnictwo, przemysł hutniczy), sektor komunalno-bytowy, transport i rolnictwo. Do negatywnych skutków zanieczyszczeń zalicza się skażenie środowiska, zajętość terenu, drgania i hałas. W szczególności te ostatnie mają dodatkowo bezpośredni wpływ na komfort i zdrowie podróżnych. W celu poprawy stanu środowiska dąży się do minimalizacji źródeł pochodzenia zagrożeń akustycznych, do których zalicza się hałas drogowy, kolejowy, przemysłowy i lotniczy. W przypadku transportu drogowego i kolejowego, hałas jest konsekwencją między innymi globalnego zwiększania się natężenia ruchu kołowego oraz zwiększania prędkości przejazdowych pojazdów kolejowych [5].

W kontekście oddziaływania na środowisko, wadą pojazdów szynowych jest generowanie drgań i hałasu podczas jazdy a w mniejszym stopniu podczas postoju. Dynamiczne procesy zachodzące przy kontakcie koło – szyna w połączeniu ze strukturalnym oddziaływaniem pudła pojazdu składa się na szeroko rozumianą aktywność wibroakustyczną pojazdu. Jednak transport kolejowy powoduje mniejszą ingerencję w środowisko naturalne niż transport drogowy [1].

Źródła hałasu drogowego emitowanego przez poruszający się pojazd możemy podzielić na trzy zasadnicze grupy. Do pierwszej zaliczamy jednostkę napędową z współpracującymi podzespołami mechanicznymi pojazdu. Spalanie w silniku wywołuje największy poziom drgań i hałasu w zakresie 20 – 180 Hz. W podzespołach współpracujących z jednostką napędową (skrzynie biegów, reduktory, dyferencjały) źródłem zjawisk wibroakustycznych jest ruch obrotowy poszczególnych podzespołów. Drugą grupą jest hałas aerodynamiczny traktowany jako zjawiska akustyczne. Wynika on z opływu strug powietrza wokół nadwozia pojazdu, silnika i wentylatorów chłodzenia. Hałas aerodynamiczny cechuje się maksymalnymi wartościami częstotliwości w zakresie 2000 – 5000 Hz. Trzecim źródłem hałasu drogowego jest współpraca opon z nawierzchnią. Na poziom hałasu generowanego przez oponę decydujący wpływ ma konstrukcja i układ bieżnika. Zetknięcie się „klocka” bieżnika z nierównością nawierzchni wiąże się z powstaniem hałasu. Uderzenia takie powoduje drganie promieniowe i styczne bieżnika oraz warstw osnowy i opasania opony. Wizualizację powstawania drgań na styku opony z nawierzchnią przedstawiono na rysunku 4.



Rys. 4. Drgania promieniowe i styczne bieżnika opony przy ugięciu (po lewej) i drgania szkieletu opony (po prawej)



Drgania bieźnika, osnowy i opasania opony odpowiadają głównie za generowanie dźwięku o częstotliwości ok. 1 kHz. Źródłem hałasu może być również ruch pojazdu po nierównościach typu przejazd kolejowo – drogowy.

3.3. POMIARY KOLEJOWEGO KLIMATU AKUSTYCZNEGO

Na podstawie obowiązujących rozporządzeń oraz TSI (Techniczne Specyfikacje Interoperacyjności) dokonano oceny klimatu akustycznego. Badania przeprowadzono w kabinie maszynisty lokomotyw elektrycznych: ET22 i EU07. W tabeli 1 przedstawiono wyniki pomiarów hałasu podczas jazdy przy czterech zadanych prędkościach: $v_1 = 60$ km/h; $v_2 = 80$ km/h; $v_3 = 100$ km/h i $v_4 = 120$ km/h [4].

Tablica 1

Wyniki pomiarów hałasu L_{Aeq} [dB] w kabinie maszynisty lokomotywy ET22 i EU07 [4]

Seria i numer lokomotywy	Prędkość jazdy [km/h]		
	60	80	100
ET22-384	77	77	78
ET22-578	77	78	78
ET22-642	78	80	79
Seria i numer lokomotywy	80	100	120
EU07-151	78	79	81
EU07-229	76	78	79
EU07-360	76	77	77

W elektrycznych lokomotywach towarowych zmierzone równoważne poziomy dźwięku zawierały się w przedziale 77 – 80 dB. W przodku lokomotyw EU07 równoważne poziomy dźwięku zawierały się w przedziale 77 – 81 dB. W lokomotywie EU07-360 poziom dźwięku nie przekroczył 77 dB i utrzymywał się na stałym poziomie niezależnie od zadanej prędkości [4].

W tabeli 2 przedstawiono wyniki pomiarów hałasu na przejazdach kolejowo – drogowych dla składów z lokomotywami serii EU07 i ET22. W ramach każdej serii przebadano 10 lokomotyw [12].

Na przejeździe kolejowym w elektrycznych lokomotywach towarowych (ET22) zmierzone równoważne poziomy dźwięku zawierały się w przedziale 74 – 84 dB. Natomiast dla lokomotyw typu EU07 przedział był szerszy i wynosił 68 – 84 dB. Maksymalny równoważny poziom dźwięku jaki udało się zarejestrować dla obu typów lokomotyw wyniósł 84 dB (EU07-138 i ET22-762) i przekroczył dopuszczalny poziom hałasu w środowisku wg [8] o 16 dB.



Tablica 2

Wyniki pomiarów hałasu na przejeździe kolejowo – drogowym [12]

Seria lokomotywy	L_{Aeq} [dB]		Seria lokomotywy	L_{Aeq} [dB]	
	TŁO	PRZEJAZD		TŁO	PRZEJAZD
EU07-065	60	80	ET22-325	51	77
EU07-084	60	71	ET22-486	57	74
EU07-105	59	69	ET22-751	61	76
EU07-138	51	84	ET22-751	57	75
EU07-188	58	68	ET22-759	58	74
EU07-312	49	83	ET22-762	56	84
EU07-325	61	81	ET22-843	58	77
EU07-328	68	77	ET22-875	59	76
EU07-420	54	75	ET22-899	59	70
EU07-505	52	74	ET22-899	54	83

Najniższy równoważny poziom dźwięku uzyskała lokomotywa EU07-188 – 68 dB, który mieści się w granicy dopuszczalnego poziomu hałasu [8].

Poziom tła akustycznego kształtował się na poziomie 49 – 68 dB. Odnotowane poziomy mieszczą się w granicy dopuszczalnej w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 22 stycznia 2014 roku [12].

4. BADANIA PILOTAŻOWE

4.1. METODYKA POMIARU PRZEJAZDU PRZEZ PRZESZKODĘ

Badania pilotażowe dotyczyły przejazdu przez przeszkodę stałą, która symuluje przejazd samochodu przez wystającą szynę na przejeździe kolejowym. Prowadzone testy miały na celu określenie wartości impulsu przyspieszenia pionowego przenoszonego na karoserię pojazdu w chwili uderzenia w przeszkodę. W ramach badań rozpoznawczych wykonano próby przejazdu samochodu przez przeszkodę stałą. Testy wykonywano ze startu zatrzymanego do ponownego zatrzymania. Zadaniem kierującego było ruszenie pojazdem ze zmianą biegu, osiągnięcie ustalonej prędkości, pokonanie przeszkody na biegu jałowym, a następnie intensywne hamowanie do zatrzymania.

Seria badań składa się z pięciu prób pomiarowych. Wykonano po dwie serie dla dwóch prędkości pojazdu, z którą ma być pokonywana przeszkoda. Przed każdą serią badań dodatkowo wykonano badania środowiskowe: pomiar temperatury otoczenia, wilgotności, ciśnienia atmosferycznego, temperatury punktu rosy, temperatury nawierzchni drogi; oraz cech fizycznych ogumienia.

Pojazd badawczy wykorzystywany do badań był uzbrojony w układ pomiarowy firmy Analog Devices typu ADIS 16385 składający się z trzech czujników przyspieszeń i trzech



piezo żyroskopów. Układ ten ma możliwość bezinwazyjnego montażu za pomocą przysawek do szyby bocznej bądź bezpośrednio na dachu pojazdu. Dodatkowo kamerą wideo rejestrowano ugięcie opony i zawieszenia podczas pokonywania przeszkody. Do akwizycji i archiwizacji danych wykorzystano przenośny komputer z dedykowanym do czujników oprogramowaniem. Wykorzystywana aparatura pomiarowa cechuje się niepewnością pomiaru na poziomie 2% [11].

4.2. WYNIKI BADAŃ

Na podstawie uzyskanych charakterystyk przyspieszeń wzdłużnych pojazdu wyznaczono chwilową wartość przyspieszenia, przenoszonego na karoserie, generowaną przez kontakt opony z przeszkodą. Wartości chwilowych przyspieszeń przedstawiono w tablicy 3 [11].

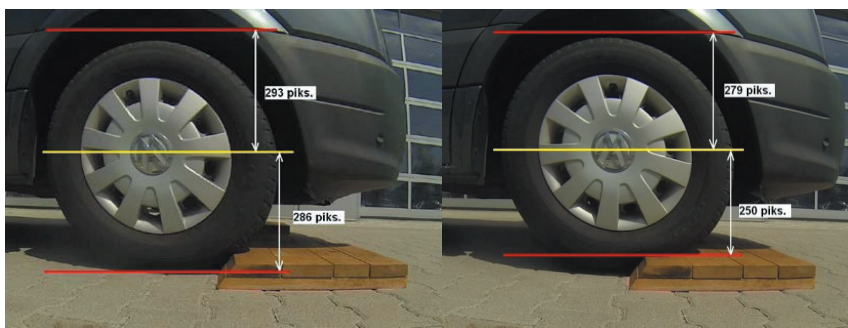
Tablica 3

Chwilowe wartości prędkości i przyspieszenia w chwili kontaktu opony z przeszkodą [11]

Prędkość I		Prędkość II	
Prędkość najazdu na przeszkodę [km/h]	Wartość impulsu przyspieszenia pionowego [m/s ²]	Prędkość najazdu na przeszkodę [km/h]	Wartość impulsu przyspieszenia pionowego [m/s ²]
		43,592	5,168
22,450	6,548	43,355	6,582
24,505	6,566	43,135	6,414
26,622	6,590	42,606	6,708
29,282	6,512	42,692	6,579
25,920	6,491	43,240	6,540
25,524	6,590	43,358	6,636
24,448	6,721	43,816	6,794
25,560	6,265	43,333	6,867
21,438	6,054	42,934	6,682
Średnia	6,482	Średnia	6,497
Odchylenie standardowe	0,201	Odchylenie standardowe	0,484

Wszystkie próby pomiarowe były wykonywane jednokierunkowo. Poklatkowa analiza materiału wideo umożliwiła obliczenie wartości strzałki ugięcia opony i zawieszenia podczas pokonywania przeszkody. Znana geometria przeszkody pozwoliła na przypisanie wartości wysokości do 1 piksela klatki filmu. W przypadku przedstawianych pomiarów wysokość przeszkody wyrażona w mm była równa przypadającej liczbie pikseli, tzn. 1 piksel = 1 mm (rys. 5). Wybrane klatki filmu wraz z analizą ugięć opony i zawieszenia w pikselach przedstawiono na rysunku 7.





Rys. 5. Widok samochodu Volkswagen Crafter podczas pokonywania przeszkody [11]

Wartości ugięcia opony i zawieszenia przyjęto, że w sytuacji gdy pojazd porusza się po płaskiej nawierzchni ze stałą prędkością ugięcie opony podczas jego ruchu jest równoważne z ugięciami statycznymi opon wynikającymi z obciążenia jednostkowego danego koła.

5. PODSUMOWANIE

Wyniki badań w zakresie przejazdu pojazdu kołowego przez przeszkodę miały pokazać istotę i potrzebę zajęcia się od strony naukowej tego typu zagadnieniami. Istnieje zatem potrzeba opracowania szczegółowej metodyki oraz przeprowadzenia kompleksowych badań zjawisk wibroakustycznych generowanych przez pojazdy drogowe i szynowe na przejazdach kolejowo – drogowych. Zagadnienia te zostaną przedstawione w kolejnych publikacjach autorów.

Analiza zjawisk wibroakustycznych wymaga również kompleksowej diagnostyki stanu technicznego przejazdów. Za pomocą oceny poszczególnych parametrów, do dalszych badań, zostaną wyłonione grupy reprezentacyjne przejazdów kolejowych i drogowych. Z dotychczasowej wiedzy, kolejnym elementem wymagającym uwagi jest fakt, że brak w literaturze informacji o kompleksowych badaniach drgań i hałasu na przejazdach kolejowo – drogowych.

Planowane badania pomiaru emisji hałasu generowanego podczas ruchu samochodów na przejazdach mogą się przyczynić do opracowania kryteriów oceny tych skrzyżowań. Integracja pomiarów zakresu emitowanego dźwięku i wartości przyspieszeń pionowych związanych z uderzeniem opony w szynę może przyczynić się do wyznaczenia prędkości przejazdowych, co ma bezpośrednio wpływ na bezpieczeństwo ruchu. Problem generacji hałasu do środowiska na skrzyżowaniach kolejowo – drogowych wskazuje potrzebę przeprowadzenia dalszych badań z poziomu transportu drogowego.

Bibliografia

1. Czechura B., Kwaśnikowski J., Tomaszewski F.: Możliwości wykorzystania metod wibroakustycznych w procesie oceny własności eksploatacyjnych tramwaju. *Logistyka* 4/2011, s. 172- 180.
2. Grulkowski S., Kędra Z., Koc W., Nowakowski J.: *Drogi szynowe*. Politechnika Gdańska, Gdańsk 2013.
3. Materiały udostępnione przez firmę Wytwórnia Podkładów Strunobetonowych.
4. Orczyk M., Tomaszewski F.: Porównanie hałasu panującego we wnętrzu wybranych typów pojazdów szynowych podczas jazdy. XX Międzynarodowa Konferencja Naukowa „Pojazdy Szynowe 2012”, Poznań 2012.
5. Program Operacyjny Infrastruktura i Środowisko - Narodowe Strategiczne Ramy Odniesienia 2007 – 2013 Ministerstwo Rozwoju Regionalnego 24.09.2007 r.
6. Regulamin nr 117 Europejskiej Komisji Gospodarczej Organizacji Narodów Zjednoczonych (EKG ONZ) – Jednolite przepisy dotyczące homologacji opon w odniesieniu do emisji hałasu toczenia i przyczepności na mokrych nawierzchniach lub oporu toczenia. *Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej*, 23.11.2011.
7. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju, W sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać skrzyżowania linii kolejowych oraz bocznic kolejowych z drogami publicznymi i ich użytkowanie. Akt prawny Dz.U. z 2015 r. poz. 1744, Warszawa 2015.
8. Rozporządzenie Ministra Środowiska. W sprawie dopuszczalnych poziomów hałasu w środowisku. Akt prawny Dz. U. Nr 120 poz.826, Warszawa 2012.
9. Tomaszewski F., Wojciechowska E.: Transport kolejowy a ochrona środowiska. *Czasopismo Techniczne Politechniki Krakowskiej*, Kraków 2011.
10. Urbaniak M., Licow R.: Wybrane aspekty wpływu modernizacji i rewitalizacji infrastruktury kolejowe na środowisko. *Stowarzyszenie Inżynierów i Techników Komunikacji Rzeczpospolitej Polskiej Oddział w Krakowie, Kraków 2015*, s. 133.
11. Waluś K. J., Polasik J., Markiewicz F., Cieślak M., Adamiec J.M.: Badania doświadczalne cech kinematycznych ruchu pojazdu typu „bus” podczas przejazdu przez przeszkodę. *Logistyka* 2014, nr 5, str. 1607-1614, ISSN 1231-5478.
12. Wojciechowska E.: Analiza metod szacowania poziomu dźwięku pojazdów szynowych. *Rozprawa doktorska, Politechnika Poznańska Wydział Maszyn Roboczych i Transportu, Poznań 2008*.
13. www.strail.de.

THE THEORETICAL BASIS OF VIBROACOUSTIC PHENOMENA OCCURRING ON RAILWAY CROSSINGS

Summary: Vibroacoustic phenomena are generated by motor vehicles and rail vehicles. The level of vibration and noise depends many factors for example: types of tyre and surface, aerodynamic resistance, construction of vehicle and technical condition of vehicle. Source of noise may be hitting by tire in obstacles (or hitting in road infrastructure). Railway crossings are part of road and rail infrastructure which has impact on level emitting vibroacoustic phenomena. In article was characterized railway crossings surfaces and presents the results measurements of rail vehicles noise levels. The research was conducted during passage rail vehicles through railway crossing. Additionally, article presents methodology measuring vertical acceleration values transmitted on car body at the moment of impact in constant obstacle.

Keywords: railway crossing; vibration; noise

