



JAN BIEN, *jan.bien@pwr.wroc.pl*

MIESZKO KUŻAWA, *mieszko.kuzawa@pwr.wroc.pl*

JÓZEF RABIEGA, *jozef.rabiega@pwr.wroc.pl*

PAWEŁ RAWA, *pawel.rawa@pwr.wroc.pl*

JAROSŁAW ZWOLSKI, *jaroslaw.zwolski@pwr.wroc.pl*

Politechnika Wroclawska

USZKODZENIA I AWARIE OBIEKTÓW MOSTOWYCH POWODOWANE UDERZENIAMI POJAZDÓW

BRIDGE DEFECTS AND FAILURES CAUSED BY VEHICLE COLLISIONS

Streszczenie W artykule przedstawiono przegląd najczęściej spotykanych uszkodzeń obiektów mostowych powodowanych uderzeniami pojazdów samochodowych oraz taboru kolejowego. Zaprezentowano porównanie wrażliwości obiektów na poszczególne typy uszkodzeń w zależności od materiału konstrukcji, z wyróżnieniem konstrukcji betonowych, stalowych i murowanych. Uszkodzenia typowe dla rozpatrywanych rodzajów konstrukcji zilustrowano zdjęciami.

Abstract Review of the most frequent bridge defects caused by impacts of road and railway vehicles is presented in the paper. Sensitivity to collision effects is discussed for various structural materials, including concrete, steel and masonry structures, taking into account basic types of defects. Damage typical for considered types of structures are illustrated by photos.

1. Wprowadzenie

Uderzenia pojazdów w obiekty mostowe powodujące z reguły bardzo znaczne przeciążenia elementów konstrukcji są coraz częstszą przyczyną uszkodzeń i awarii, a nawet mogą prowadzić do katastrof. Groźne efekty mogą być powodowane zarówno uderzeniami pojazdów samochodowych, jak i taboru kolejowego, a zagrożenie kolizjami jest związane z pojazdami poruszającymi się po obiekcie mostowym, jak również pojazdami przemieszczającymi się trasą komunikacyjną usytuowaną pod obiektem [1], [2], [3].

Wśród kolizji powodowanych przez pojazdy samochodowe można wyróżnić:

- a) uderzenia pojazdów w podpory – najczęściej powodowane kolizjami między pojazdami, zaśnięciem lub zaślabnięciem kierowców czy też technicznymi awariami pojazdów,
- b) uderzenia w przęsła – przeważnie w konsekwencji przejazdu ponadnormatywnych gabarytowo pojazdów lub ładunków, a także w wyniku nieprzestrzegania ograniczeń eksploatacyjnych wynikających z nienormatywnych wymiarów skrajni drogowej pod obiektem.

W przypadku pojazdów kolejowych uderzenia w elementy konstrukcji mostowych są z reguły skutkiem wykołowania się taboru, a w szczególnych sytuacjach – przewozu ładunków przekraczających wymiary skrajni (np. w wyniku niekontrolowanego przemieszczenia się ładunku w trakcie transportu).

2. Podstawowe typy uszkodzeń obiektów mostowych

W tabl. 1 przedstawiono przegląd najczęściej spotykanych uszkodzeń obiektów mostowych powodowanych uderzeniami pojazdów wraz z oszacowaniem wrażliwości obiektów na poszczególne typy uszkodzeń w zależności od materiału konstrukcji. Biorąc pod uwagę konstrukcje betonowe, stalowe oraz murowane wyróżniono: uszkodzenia najczęściej występujące, rzadko spotykane oraz uszkodzenia pojawiające się wyjątkowo jako skutek uderzeń pojazdów.

Tablica 1. Uszkodzenia powodowane uderzeniami pojazdów w zależności od materiału konstrukcji

Typ uszkodzeń	Rodzaj uszkodzeń	Konstrukcje		
		betonowe	stalowe	murowane
Deformacje	Zmiana geometrii osi elementu	□	●	
	Zmiana geometrii na długości elementu	○	●	○
Destrukcja materiału	Zmiana cech chemicznych			
	Zmiana cech fizycznych	○	□	
Ubytki materiału	Ubytek materiału elementu	●	●	●
	Ubytek materiału warstw zabezpieczających	●	●	●
Utrata ciągłości materiału	Rysa	●	●	○
	Pęknięcie	●	●	□
	Rozwarstwienie	○	○	□
Zanieczyszczenia	Nieorganiczne	□	□	□
	Organiczne			
Zmiany położenia	Nieprawidłowe usytuowanie elementów	○	●	
	Nadmierne przemieszczenia liniowe	○	●	□
	Nadmierny obrót	○	●	□
	Ograniczenie przemieszczeń liniowych	□	□	
	Ograniczenie możliwości obrotu	□	□	
Oznaczenia: ● – najczęstsze uszkodzenia, ○ – uszkodzenia rzadko spotykane, □ – uszkodzenia występujące wyjątkowo				

Klasyfikację uszkodzeń obiektów mostowych przyjęto zgodnie z systematyką zaproponowaną między innymi w pracach [2], [3] oraz rekomendowaną w zaleceniach międzynarodowych [4]. Wyróżniono następujące podstawowe typy uszkodzeń:

1. deformacje – uszkodzenia polegające na niezgodnych z projektem zmianach geometrii, powodujących zmiany wzajemnych odległości punktów obiektu lub jego części,
2. destrukcja materiału – uszkodzenie polegające na pogorszeniu wartości cech fizy-

- kochemicznych materiału w stosunku do wartości projektowanych,
3. ubytki materiału – zmniejszenie ilości materiału elementów obiektu w stosunku do rozwiązania zaprojektowanego,
 4. utrata ciągłości materiału – uszkodzenie polegające na niezgodnym z projektem przerwaniu ciągłości materiału konstrukcji,
 5. zanieczyszczenia – uszkodzenia polegające na występowaniu zabrudzeń obiektu lub na nieprzewidzianej w projekcie wegetacji na nim roślin,
 6. zmiany położenia – uszkodzenia polegające na niezgodnym z projektem przemieszczeniu obiektu mostowego lub jego elementu, przy którym wzajemne odległości wszystkich punktów przemieszczonej części nie ulegają zmianie (nie występują deformacje), a także niezgodne z projektem ograniczenie możliwości przemieszczeń.

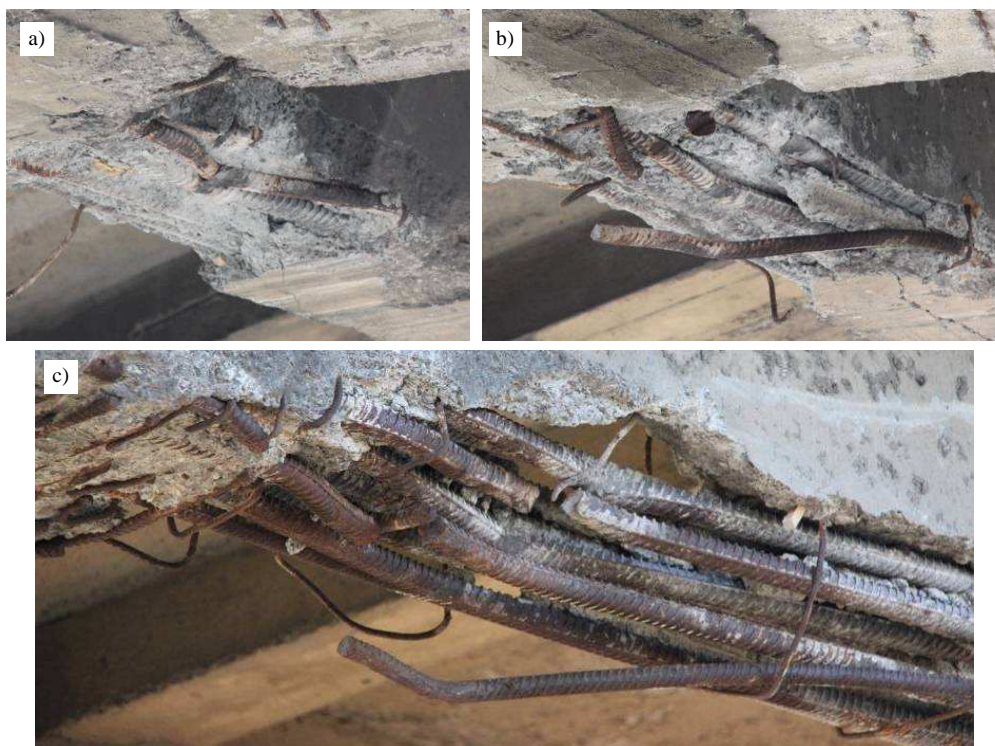
3. Konstrukcje betonowe

Do typowych uszkodzeń betonowych obiektów mostowych powodowanych uderzeniami pojazdów można zaliczyć:

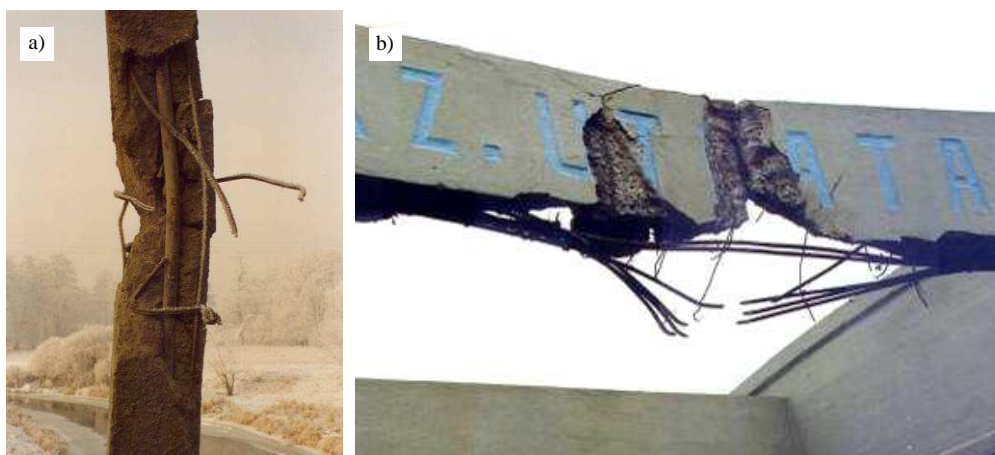
- a) ubytki betonu oraz materiału prętów zbrojenia (rys. 1, 2, 3),
- b) deformacje prętów zbrojenia (rys. 2, 3, 4c),
- c) pęknięcia prętów zbrojenia głównego (rys. 2b, 2c, 3b, 4a, 4c), pęknięcia strzemion (rys. 2, rys. 3, rys. 4c), a także pęknięcia cięgien sprężających (rys. 4b).



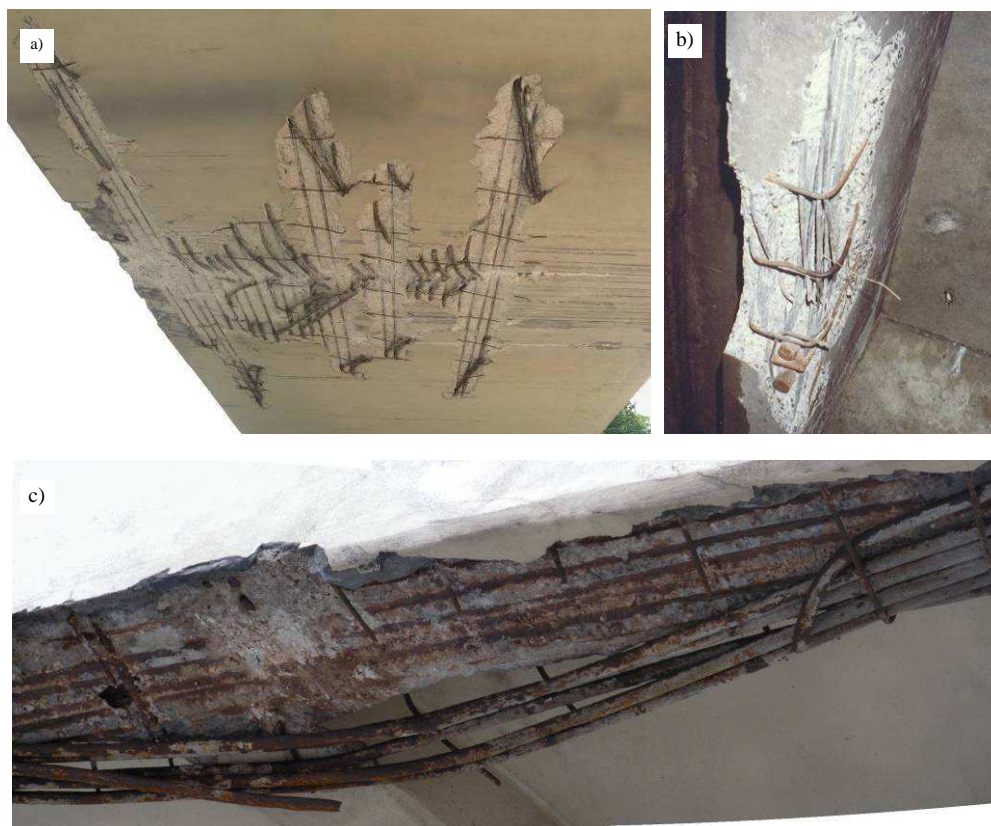
Rys. 1. Ubytki materiału spowodowane uderzeniami pojazdów: a) ubytek otuliny zbrojenia dźwigara, b) ubytek otuliny i prętów zbrojenia przęsła płytowego, c) ubytki betonu przyczółka



Rys. 2. Typowe uszkodzenia żelbetowych dźwigarów przęseł powodowane uderzeniami pojazdów poruszających się pod obiektem mostowym: a) ubytki betonowej otuliny, przerwanie strzemion i deformacja prętów zbrojenia głównego, b) ubytki betonu, deformacje dwóch prętów i przerwanie ciągłości pręta zbrojenia, c) rozległe ubytki betonu oraz deformacje i pęknięcia znacznej liczby prętów zbrojenia głównego, a także strzemion



Rys. 3. Przykłady skutków uderzeń pojazdów poruszających się po obiekcie mostowym – deformacje, ubytki materiału oraz utrata ciągłości prętów zbrojenia: a) wieszaka przęsła łukowego, b) stężenia poprzecznego dźwigarów łukowych



Rys. 4. Awarie obiektów mostowych w wyniku uderzeń pojazdów: a) przecięcie ok. 70% prętów zbrojenia głównego przęsła, b) przecięcie ok. 40% strun sprężających dźwigar, c) przecięcie ok. 20% prętów zbrojenia dźwigara i znaczna deformacja pozostałych prętów

4. Konstrukcje stalowe

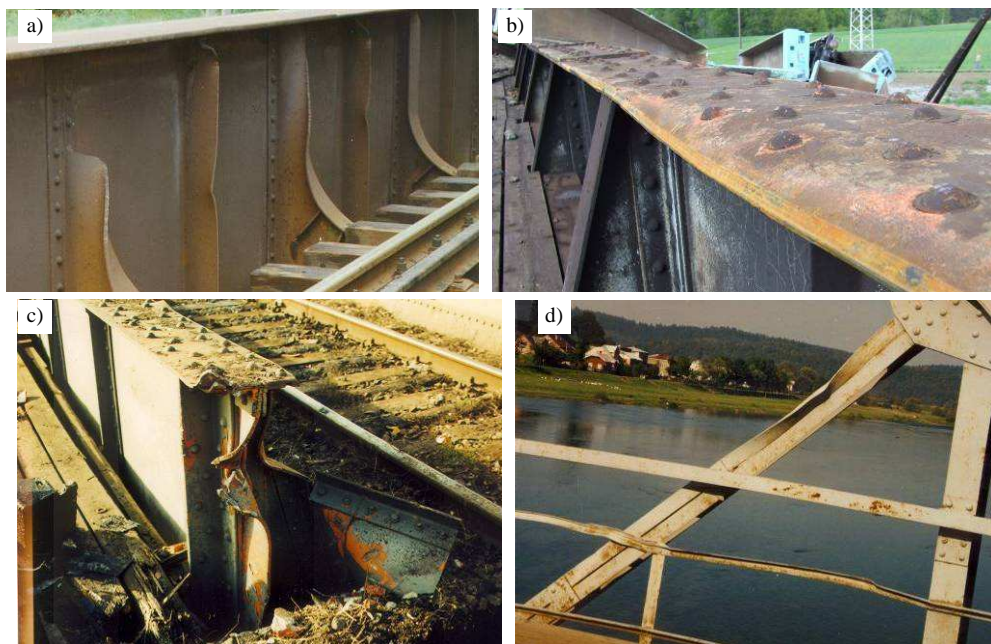
Stalowe obiekty mostowe, ze względu na stosunkowo małą sztywność elementów konstrukcyjnych, są narażone na szczególnie intensywne i rozległe uszkodzenia w przypadku uderzeń pojazdów. Do typowych efektów kolizji należą:

- a) deformacje w postaci zarówno zmian geometrii osi (rys. 5a, 5d, 7), jak i deformacji przekroju poprzecznego elementów (rys. 5b, 6),
- b) zarysowania i pęknięcia elementów (rys. 5c, 5d, 7d),
- c) ubytki materiału elementów konstrukcji (rys. 6a, 6c),
- d) zmiany położenia elementów (rys. 7a, 7b).

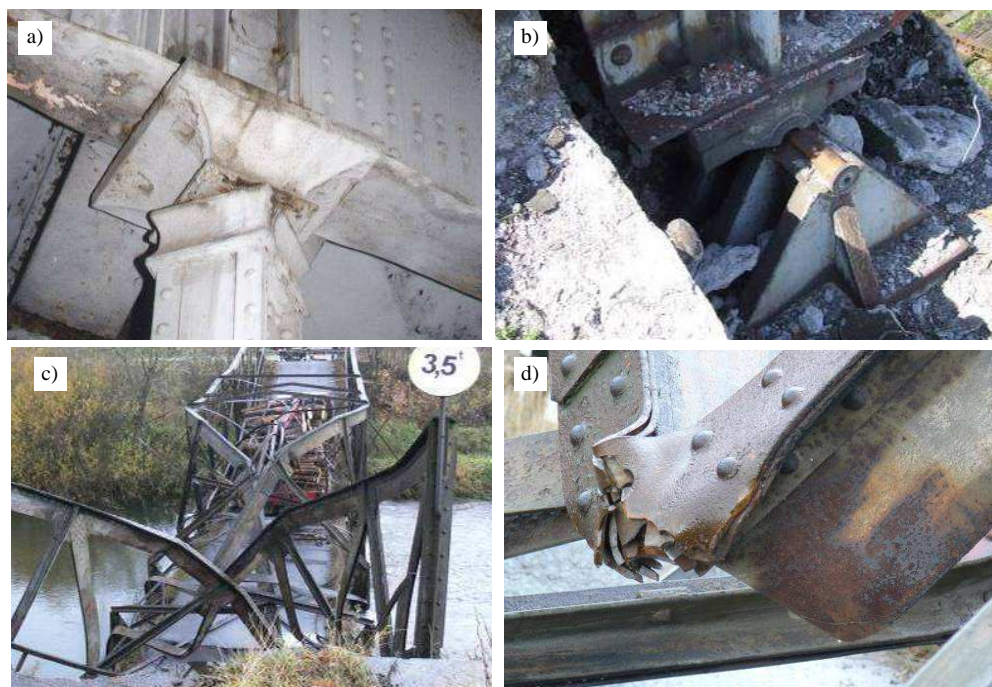
Uszkodzenia są powodowane przez pojazdy przejeżdżające pod obiektami (rys. 5, 7a), a także przez pojazdy samochodowe (rys. 7a, c, d) i pojazdy szynowe (rys. 6, 7b) przemieszczające się wzdłuż obiektów. W wielu sytuacjach uszkodzenia powstałe w efekcie kolizji powodują awarie wymagające wyłączenia obiektu z eksploatacji (np. rys. 7a, 7b) lub mogą prowadzić nawet do katastrofy budowlanej, jak pokazano na rys. 7c, 7d.



Rys. 5. Typowe uszkodzenia przęseł mostowych spowodowane uderzeniami samochodów przejeżdżających pod obiektem: a) deformacja osi dźwigara, b) deformacja dolnego pasa dźwigara, c) pęknięcie elementu stężenia, d) pęknięcie i deformacja elementów stężenia



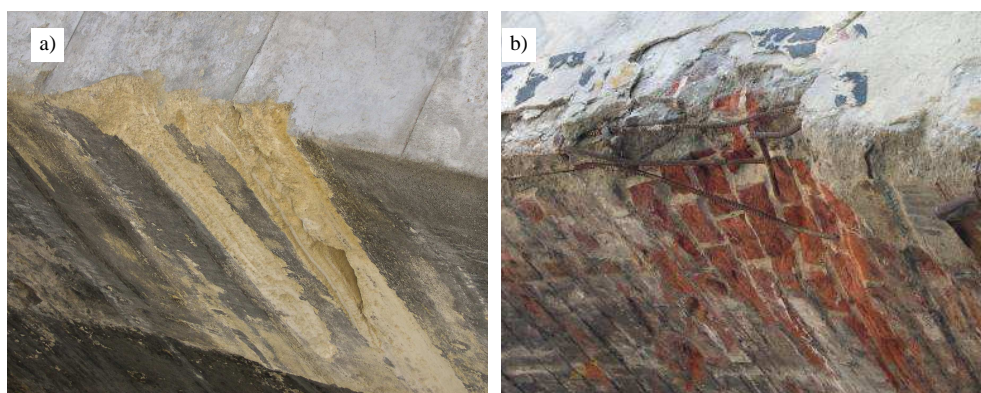
Rys. 6. Charakterystyczne uszkodzenia wywołane uderzeniami pojazdów poruszających się po obiekcie: a) deformacje i ubytki materiału elementów usztywniających, b) deformacja górnego pasa dźwigara, c) deformacja i pęknięcia dźwigara blachownicowego, d) deformacja krzyżulca kratownicy



Rys. 7. Awarie i katastrofy wywołane uderzeniami pojazdów: a) zmiana położenia słupa podpory, b) poprzeczne przesunięcie przęsła względem podpory, c) katastrofa mostu w wyniku uderzenia pojazdu w górne stężenia dźwigarów, d) zniszczone górne stężenie przęsła mostowego

5. Konstrukcje murowane

Mostowe konstrukcje murowane, tak kamienne (rys. 8a) jak i ceglane (rys. 8b), charakteryzują się znaczną odpornością na przeciążenia wywoływane uderzeniami pojazdów. Typowe uszkodzenia to lokalne ubytki materiału, których przykłady pokazano na rys. 8.



Rys. 8. Ubytki materiału – typowe uszkodzenia mostów murowanych związane z uderzeniami pojazdów

6. Podsumowanie i wnioski

Uszkodzenia obiektów mostowych powodowane uderzeniami pojazdów samochodowych i szynowych stwarzają z reguły znaczne zagrożenie dla konstrukcji i użytkowników infrastruktury transportowej. Przeciżenia powodowane kolizjami w ciągu ułamków sekundy mogą doprowadzić obiekt do stanu awaryjnego (patrz np. rys. 3, 4, 7a, 7b), a w efekcie – do konieczności wyłączenia obiektu z eksploatacji lub nawet katastrofy (rys. 7c, 7d).

Przyczyną większości uderzeń pojazdów samochodowych jest nieprzestrzeżenie przez kierowców przepisów określających dopuszczalne wymiary przewożonych transportów. Innym powodem kolizji bywa fakt, że w przypadku wielu obiektów mostowych nie są spełnione przepisy [5] określające minimalną wysokość skrajni pod obiektem i na obiekcie. Obiekty, które nie spełniają obowiązujących wymagań często nie są właściwie oznakowane ani nie są odpowiednio zabezpieczone przed skutkami uderzeń pojazdów [6]. W przypadku pojazdów szynowych główną przyczyną uderzeń w elementy konstrukcji mostowych jest wykolejenie w rejonie obiektu, a niekiedy przewóz ładunków ponadgabarytowych.

Analiza istniejącej sytuacji prowadzi do następujących ogólnych wniosków:

- a) obiekty mostowe wykazują zróżnicowaną wrażliwość na przeciążenia powodowane uderzeniami pojazdów – największą odporność wykazują masywne konstrukcje murywane oraz płytowe konstrukcje żelbetowe, najbardziej zagrożone są obiekty stalowe ukształtowane z elementów o stosunkowo niewielkiej sztywności,
- b) obiekty niespełniające wymagań w zakresie wymiarów skrajni powinny zostać możliwie szybko przebudowane, a do tego czasu powinny być poprawnie oznakowane,
- c) tam, gdzie to jest możliwe należy stosować urządzenia ochronne lub ostrzegawcze (np. [6]) zmniejszające ryzyko kolizji oraz minimalizujące jej ewentualne skutki,
- d) przy doborze rozwiązań konstrukcyjno-materiałowych nowych obiektów należy brać pod uwagę odporność konstrukcji na ewentualne uderzenia pojazdów i skutki kolizji.

Prezentowane badania i analizy zostały wykonane w ramach realizacji Projektu „Innowacyjne środki i efektywne metody poprawy bezpieczeństwa i trwałości obiektów budowlanych i infrastruktury transportowej w strategii zrównoważonego rozwoju” współfinansowanego przez Unię Europejską z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka.

Literatura

1. Bień J., Kuźawa M., Rabięga J., Rawa P., Zwolski J.: Awaryjne uszkodzenia wiaduktów autostradowych spowodowane uderzeniami pojazdów. Seminarium „Wrocławskie Dni Mostowe: Obiekty mostowe na autostradach i drogach ekspresowych”, Wrocław, 2009.
2. Bień J.: Mosty kolejowe – uszkodzenia, awarie, katastrofy, XXIV Konferencja Naukowo-Techniczna „Awaryjne Budowlane”, Szczecin-Międzyzdroje, 2009.
3. Bień J.: Uszkodzenia i diagnostyka obiektów mostowych, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa, 2010.
4. Guideline for Inspection and Condition Assessment of Railway Bridges, 2007, www.sustainablebridges.net.
5. Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 30 maja 2000 r. w sprawie warunków, jakim powinny odpowiadać drogowe obiekty inżynierskie i ich usytuowanie, Dz. U. Nr 63, poz. 735.
6. Rabięga J.: Sposoby ochrony przęseł wiaduktów przed uderzeniami wysokich pojazdów, Inżynieria i Budownictwo, nr 6/1992.