Mgr inż. EDMUND BUDKA, *biuro@promost.wroc.pl*
Mgr inż. GRZEGORZ LEWANDOWSKI, *biuro@promost.wroc.pl*
Biuro Projektowo – Badawcze PROMOST Wrocław
Mgr inż. MACIEJ KOŻUCH, *maciej.kozuch@pwr.wroc.pl*
Dr inż. WOJCIECH LORENC, *wojciech.lorenc@pwr.wroc.pl*
Dr inż. JÓZEF RABIEGA, *jozef.rabiega@pwr.wroc.pl*
Politechnika Wrocławska

PRZYKŁADY USZKODZEŃ KONSTRUKCJI MOSTOWYCH SPOWODOWANYCH UDERZENIAMI POJAZDÓW

EXAMPLES OF BRIDGE STRUCTURE FAILURES CAUSED BY VEHICLE IMPACTS

Streszczenie Konstrukcje wiaduktów, jako obiekty dla bezkolizyjnego skrzyżowania dróg bądź też dróg i linii kolejowych, narażone są na uderzenia związane z przejeżdżającymi pod nimi pojazdami. Uderzenia te wynikają z przejazdu ponadnormatywnych gabarytowo pojazdów lub z niezachowanej pionowej skrajni drogowej pod obiektem. W niniejszym artykule autorzy przedstawiają trzy przykładowe konstrukcje wiaduktów kolejowych uszkodzonych na skutek uderzeń przejeżdżających pod nimi pojazdów samochodowych. Zwrócono głównie uwagę na skutki takich uderzeń – wywołanie stanu awaryjnego lub przedawaryjnego konstrukcji nośnych: blachownicowej oraz kratowej, oraz konstrukcji żelbetowej belkowo – płytowej przęsła.

Abstract The structures of viaducts, which are forming flyover intersections of roads or roads and railway lines, are endangered on impacts coming from vehicles passing below the structure. These impacts might result from one of the following: passing over normative vehicle or unpreserved vertical road gauge under the structure. In this paper authors demonstrate three examples of rail viaduct structures, which were damaged because of vehicle impacts. Special attention is paid to the consequences of these impacts. There are presented effects of impacts on bring out the state of failure emergency in three different types of structures: steel girders, steel truss and reinforced concrete beam – plate structure.

1. Ogólny opis przedstawianych wiaduktów

1.1. Wiadukt kolejowy w strzelcach opolskich

Wiadukt kolejowy zlokalizowany jest w km 27.055 linii 175 Kłodnica-Kluczbork, nad drogą krajową nr 94 w miejscowości Strzelce Opolskie. Wybudowany został w 1934 r. Konstrukcję niosącą przęsła stanowią belki główne wykonane jako nitowane blachownice stalowe wraz z pomostem, który tworzą blachy nieckowe mocowane bezpośrednio do poprzecznic i podłużnic oraz blachy boczne koryta balastowego mocowane do środników dźwigarów głównych. Podłużnice i poprzecznice wykonane są odpowiednio z dwuteowników walcowanych I260 i I425. Przęsło stalowe w planie jest proste. Rozpiętość wiaduktu mierzona w osiach podpór wynosi 17,00 m, rozstaw dźwigarów głównych w kierunku poprzecznym – 3,50 m. Konstrukcja

oparta jest na stalowych łożyskach ruchomych wałkowych i przegubowo – stycznych ustawionych na betonowych ciosach podłożyskowych. Ogólny widok wiaduktu przedstawiony został na rys. 1. Droga nr 94, którą przekracza omawiany wiadukt należy do klasy G, dla której wymagana wysokość skrajni wynosi 4,60 m. Światło pionowe wiaduktu wynosi zaś 4,37–4,50 m, więc wymagania dotyczące skrajni drogowej nie zostały w pełni spełnione.

Rys. 1. Widok na wiadukt w Strzelcach Opolskich od strony Strzelec

1.2 Wiadukt kolejowy w Wólce Orłowskiej

Wiadukt kolejowy znajduje się w km 25.523 linii nr 069 Rejowiec – Hrebenne, szlak Krasnystaw – Ruskie Piaski nad drogą krajową nr 17 w km 150+208 linii Warszawa – Zamość – Granica Państwa w miejscowości Wólka Orłowska. Ogólny widok konstrukcji pokazano na rys. 2.

Rys. 2. Widok na wiadukt w Wólce Orłowskiej od strony Krasnegostawu

Konstrukcję wiaduktu stanowi jednoprzęsłowa, nitowana kratownica stalowa z jazdą dołem o rozpiętości teoretycznej równej 47,76 m. Pasy górny i dolny są poziome, ich przekroje składają się z dwóch ceowników z nakładkami stężonymi przewiązkami z płaskowników. Krzyżulce dźwigara głównego stanowią elementy dwugałęziowe, stężone przewiązkami z płaskowników. Dźwigary główne to kratownice typu „N”, a wiatrownice górne i dolne oraz tężniki poprzeczne pionowe są typu „X”. Wysokość kratownicy w osiach pasów wynosi 6,96 m, rozstaw osiowy dźwigarów głównych 5,10 m. Dźwigary oparte są na łożyskach nieprzesuwnych przegubowych na jednym przyczółku oraz ruchomych dwuwałkowych na

drugim. Światło pionowe pod wiaduktem wynosi 4,59 m, przy wymaganej skrajni pionowej dla klasy drogi G – 4,60 m.

1.3. Wiadukt kolejowy w Lubinie

Wiadukt kolejowy znajduje się w km 1.785 zelektryfikowanej, jednotorowej Przemysłowej Linii Kolejowej nad ul. Hutniczą w Lubinie. Został on wybudowany w 1965 r. Widok z boku na obiekt przedstawiono na rys. 3.

Rys. 3. Widok na wiadukt w Lubinie od strony zachodniej

Konstrukcję niosącą wiaduktu stanowi jednoprzęsłowy układ płytowo – belkowy o schemacie statycznym belki swobodnie podpartej. Jest to monolityczna konstrukcja żelbetowa składająca się z dwóch dźwigarów głównych, czterech poprzecznic i płyty pomostowej z dwoma wspornikami. Rozpiętość teoretyczna przęsła wynosi 10,75 m. Światło wiaduktu w licach podpór wynosi 9,99 m. Szerokość całkowita przęsła wynosi 4,44 m. Dźwigar główny stanowi układ dwóch belek żelbetowych o przekroju prostokątnym 0,51 m na 1,60 m wysokości licząc od spodu dźwigara do góry płyty pomostowej, w rozstawie osiowym 2,11 m. Grubość płyty pomostowej wynosi 25 cm. Wysokość konstrukcyjna w środku rozpiętości wiaduktu wynosi 1,87 m. Przęsło oparte jest bezpośrednio na stalowych ciosach za pomocą łożysk z blach stalowych płaskich o grubości 20 mm. Blachy dolne łożysk, zarówno stałych jak i ruchomych, stanowią górne blachy stalowych ciosów podłożyskowych. Światło pionowe pod obiektem wynosi 4,53 m, a zatem spełnia wymagania dotyczące pionowej skrajni drogowej.

2. Uderzenia pojazdów samochodowych w przęsła wiaduktów

2.1. Stalowy wiadukt kolejowy o dźwigarach blachownicowych w Strzelcach Opolskich

W roku 2008 miała miejsce kolizja drogowa, na skutek której dźwigary główne wiaduktu zostały uszkodzone. Przejeżdżający pod obiektem pojazd uderzył w blachownicę od strony Strzelec Opolskich w pobliżu środka rozpiętości przęsła, następnie jadąc dalej uszkodził dźwigar od strony Bytomia (w mniejszym stopniu). Na pierwszym z nich zerwaniu uległy trzy z czterech nakładek pasa dolnego oraz wszystkie nity w miejscu kontaktu z pojazdem (zgodnie z protokołem z kolizji drogowo – kolejowej 26 szt.), a na znacznym odcinku wyboczeniu uległ środnik blachownicowego dźwigara głównego oraz jedno z żeber usztywniających środnik. Wszystkie nakładki pasa dolnego, jak i kątownik styku montażowego w tym miejscu zostały zdeformowane. Zaobserwowano liczne przetarcia i zerwania główek nitów

oraz powstałe wcześniej wgniecenia nakładek pasa dolnego pochodzące od kontaktu z przejeżdżającymi pojazdami. Miejsce bezpośredniego uderzenia zilustrowane jest na rys. 4.

Rys. 4. Uszkodzenie pasa dolnego blachownicy – zerwanie oraz deformacja nakładek pasowych, deformacja żebra, środnika oraz ścięcie nitów łączących nakładki pasa

Na skutek kolizji uszkodzeniu uległy również betonowe ciosy podłożyskowe. W wyniku znacznej siły poziomej, prostopadłej do osi toru, cały obiekt uległ przesunięciu na łożyskach w kierunku poprzecznym o kilka centymetrów. Skutkiem tego uszkodzone zostały bolce stabilizujące dolną płytę łożyska wałkowego, a cios podłożyskowy został rozłupany (rys. 5).

Rys. 5. Przesunięcie konstrukcji na łożyskach w kierunku poprzecznym oraz zniszczenie ciosu podłożyskowego

Należy dodać, że przedstawiony na rys. 5 schemat zniszczenia ciosu podłożyskowego został zaobserwowany przy wszystkich łożyskach, zarówno stałych jak i jednokierunkowo przesuwnych. Całkowitemu zniszczeniu uległ też jeden ze wsporników podchodnikowych, który został wyrwany z konstrukcji podczas uderzenia.

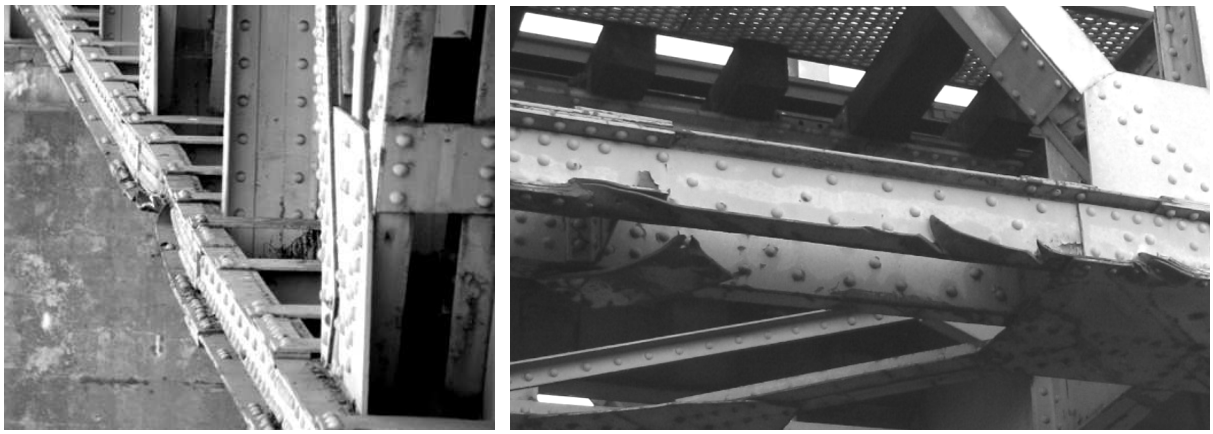
Analiza statyczno – wytrzymałościowa przeprowadzona w ramach *Przeglądu specjalnego wiaduktu po kolizji drogowej* wykazała, że w stanie sprzed kolizji wiadukt spełniał wymagania nośności dla klasy obciążenia taborem kolejowym k = -1 wg [1]. Po uwzględnieniu uszko-

dzenia żadne normowe obciążenie nie może być przeniesione przez konstrukcję, zaś w stanie bezużytkowym (ciężar własny wiaduktu wraz z wyposażeniem) wiadukt nie stwarza zagrożenia dla bezpieczeństwa ruchu kołowego pod nim. W trakcie analizy MES uszkodzenie zostało zamodelowane jako ubytek przekroju poprzecznego (3 zerwane nakładki). Dodatkowo uwzględniono występowanie w sąsiedztwie styku montażowego i stopniowy przyrost nośności nakładek od 0 do ich pełnej wytrzymałości na odcinku zdeterminowanym nośnością nitów na ścięcie. Spowodowało to zupełne wyłącznie ze współpracy pasa dolnego w pobliżu środka rozpiętości dźwigara.

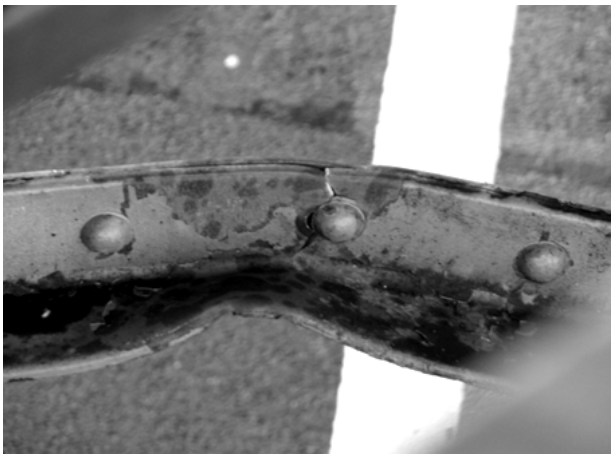
Przywrócenie pierwotnych parametrów nośności obiektu [1] okazało się wyjątkowo trudnym zadaniem. W miejscu kontaktu pojazdu z konstrukcją znajdują się styki montażowe środnika i pasów dźwigara blachownicowego, co powoduje, że wciągnięcie do współpracy kolejnych nakładek odbywa się na znacznym odcinku. Fakt ten determinuje zwiększenie zakresu naprawy w celu uzyskania pełnej nośności analizowanego przekroju. Na długości ok. 3 m w środku rozpiętości do wysokości ¾ dźwigara usunięto zdeformowany fragment środnika wraz z nakładkami styku montażowego i odtworzono go za pomocą blachy spawanej do istniejącej konstrukcji. Naprawa pasa dolnego obejmowała usunięcie dwóch dolnych nakładek, a następnie w celu uniknięcia spawania doczołowego wszystkich nakładek w jednym przekroju, wycięcie kolejnych z przesunięciem styku o ok. 300 mm w kierunku środka rozpiętości licząc od obu końców przedostatniej nakładki. W ten sposób uzyskano „schodkowanie” kolejnych nakładek i równomierne włączenie do współpracy całego przekroju. Istniejącą konstrukcję połączono z odtworzonym pasem dolnym za pomocą śrub sprężających. Zaprojektowano również odtworzenie węzła oraz zastrzału pod wspornik podchodnikowy uszkodzony w czasie uderzenia.

2.2. Stalowy wiadukt kolejowy o dźwigarach kratowych w Wólce Orłowskiej

W styczniu 2008 r. nastąpiło uderzenie pojazdu samochodowego w konstrukcję od strony Lublina. Wygięte zostały ceowniki pasa dolnego. Dodatkowo w części środkowej pasa dolnego w miejscu uderzenia powstało rozwarstwienie pomiędzy ścianką środnika ceownika, a przykładkową blachą pionową (tworzącymi przekrój pasa dolnego). Pas dolny ceowników pasa dolnego kratownicy na odcinku około 1,5m został wygięty i podwinięty. Doszło również do częściowego przerwania jego ciągłości. Ścięte zostały nity mocujące przewiązki do gałęzi pasa dolnego. Wiązka stężenia dolnego uległa deformacji, a w miejscu osłabienia otworem na nit pękły obydwa kątowniki. Zdeformowane zostały również kątowniki tworzące pas dolny poprzecznicy, która była bezpośrednio narażona na uderzenie. Ilustracje uszkodzeń przedstawiają rysunki 6 i 7. Analiza statyczno – wytrzymałościowa wykazała, że przed kolizją wiadukt kolejowy spełniał wymagania stanów granicznych nośności i użytkowalności dla obciążenia klasy k = +1. Po jego uszkodzeniu przekroczona była nośność dla klasy k = -3. Również analizowane rzeczywiste obciążenie taborem eksploatacyjnym użytkowanym na rozważanej linii kolejowej (lokomotywy ST 44) dawało wytężenie przekraczające nośność przęsła wiaduktu. Wiadukt został więc wyłączony z użytkowania do czasu jego naprawy i wzmocnienia. W stanie bezużytkowym, przy powstałych uszkodzeniach, obiekt nie stwarzał zagrożenia – przenosił obciążenia stałe związane z ciężarem własnym oraz wyposażenia.



Rys. 6. Wygięcie pasa dolnego kratownicy po uderzeniu (po lewej) oraz zbliżenie na uszkodzony pas dolny (po prawej)



Rys. 7. Zdeformowane oraz pęknięte przy nicie kątowniki stężenia wiatrowego dolnego

Należy dodać, że we wcześniejszych latach przedstawiany obiekt był wielokrotnie uszkadzany przez przejazdy z ponadgabarytowymi ładunkami przewożonymi od strony Lubina, które powodowały już wcześniej deformacje pasa dolnego, zerwanie nitów mocujących przewiązki czy też rysowanie konstrukcji od spodu powodując co najmniej degradację powłok antykorozyjnych.

2.3. Żelbetowy wiadukt kolejowy w Lubinie

Wiadukt znajduje się ogólnie w dobrym stanie technicznym, mimo że w latach 2001–2007 został uszkodzony przynajmniej w wyniku dwóch niezależnych uderzeń pojazdami lub maszynami przejeżdżającymi pod nim w obu kierunkach. W roku 2001 obiekt przeszedł gruntowny remont wraz z podniesieniem na łożyskach. Skrajnia pod obiektem jest zachowana, co może świadczyć o tym, że uszkodzenia powstały w wyniku incydentalnego przejazdu pojazdu z niezabezpieczonymi jego częściami. Na skutek uderzeń powstały lokalne ubytki betonu na dolnych krawędziach belek głównych – odłupania lub spękania betonowej otuliny prętów zbrojeniowych. Nie doszło do uszkodzeń łożysk, ani innych elementów konstrukcyjnych (masywna konstrukcja przęsła). Nie doszło również do przerwania prętów zbrojenia, co świadczyć może, że siła uderzenia była niewielka. Stan konstrukcji po uderzeniach przedstawiają rys. 8.

Rys. 8. Odłupania i spękana otulina na dźwigarze (po lewej) oraz widok konstrukcji od dołu (po prawej)

Obiekt nie musiał być wyłączony z eksploatacji po opisanych uderzeniach. Należało jednak zaplanować remont polegający m.in. na odtworzeniu ubytków betonu, aby nie dopuścić do przyspieszonej korozji stali zbrojeniowej oraz zabezpieczeniu wiaduktu przed przyszłymi uszkodzeniami poprzez montaż stalowych belek osłonowych.

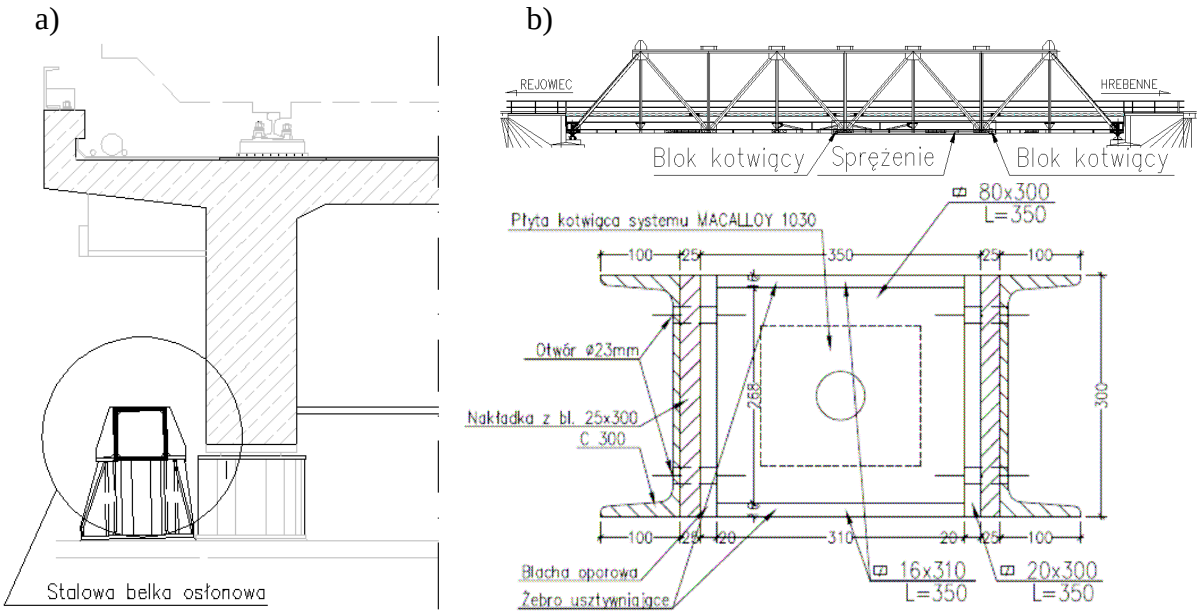
3. Skutki oraz ochrona przed uderzeniami

Skutki uderzeń pojazdów w przęsła wiaduktów spowodowane przejazdem pojazdów z ponadgabarytowymi ładunkami są trudne do przewidzenia na etapie wymiarowania konstrukcji [5]. Normy [1] oraz [2] nie precyzują dokładnego miejsca oraz siły uderzenia, które należałoby przyjąć w czasie prowadzenia analiz statyczno – wytrzymałościowych. Ponieważ konsekwencjami takich uderzeń są często uszkodzenia powodujące wyłączenie wiaduktu z użytkowania, należy przewidywać zabezpieczenia, które minimalizują prawdopodobieństwo takich incydentów (lepiej zabezpieczać niż leczyć!). Szczególnie dotyczy to lekkich konstrukcji stalowych, które nie są odporne na dynamiczne udarowe oddziaływania tego typu.

Blachownicowy dźwigar stalowy wiaduktu w Strzelcach Opolskich, ze swoimi zerwanymi nakładkami pasowymi, nie był w stanie przenosić obciążeń związanych z taborem kolejowym. W tym przypadku przyczyną uderzenia było zbyt małe światło pionowe pod obiektem. Tylko „tymczasowym” rozwiązaniem problemu jest naprawa konstrukcji. Zapewnienie bezpieczeństwa wymaga zwiększenia światła pionowego. Ponieważ podniesienie konstrukcji wiąże się z kosztowną i kłopotliwą zmianą niwelety torów kolejowych, bardziej uzasadnionym ekonomicznie wydaje się obniżenie niwelety drogi pod obiektem. Dodatkowo (lub zamiennie) przewidzieć można stalowe belki osłonowe montowane do np. przyczółków lub urządzenia bramowe z lub bez elementów uchylnych zgodnie z wymaganiami rozporządzenia ministra [3].

Również uderzenie w dolny pas kratownicy stalowej w Wólce Orłowskiej spowodowało poważne uszkodzenia konstrukcji. Częściowe uszkodzenie ceowników pasa dolnego oraz ich znaczne zdeformowanie (zakłócające osiowy przepływ sił wewnętrznych) skutkowało koniecznością wyłączenia wiaduktu kolejowego z użytkowania. Zakres remontu obejmował m.in. wymianę uszkodzonych fragmentów pasów oraz stężeń dolnych. Aby nie powodować długotrwałych przerw w użytkowaniu wiaduktu kolejowego przez PKP, zaproponowany został sposób tymczasowego wzmocnienia polegający na sprężeniu dwóch pól pasa dolnego kratownicy prętami Φ50 mm typu Macalloy (rys. 9b) [4]. Tego typu rozwiązanie zapewniało odpowiednią nośność obiektu pod użytkowanym na rozważanej linii taborem składającym się z lokomotyw ST 44.

Najmniejszy wpływ miały uderzenia pojazdami w konstrukcję betonową. Przedstawiany wiadukt kolejowy w Lubinie po kilkukrotnych uderzeniach jest dalej użytkowany bez ograniczeń. Uszkodzenia polegające na skruszeniu i zarysowaniu otuliny betonowej wpływają raczej na obniżenie trwałości obiektu niż na wywołaniu stanów awaryjnych. Zadania remontowe dotyczące uszkodzeń spowodowanych uderzeniami pojazdów polegały na przywróceniu otuliny zbrojenia oraz zabezpieczeniu wiaduktu przed kolejnymi uderzeniami poprzez montaż belek osłonowych, z obu stron przęsła (rys. 9a).



Rys. 9. a) Stalowa belka osłonowa przed obiektem w Lubinie (rysunek schematyczny), b) Wzmocnienie pasa dolnego kratownicy w Wólce Orłowskiej poprzez sprężenie prętem typu Macalloy

4. Podsumowanie

Zabezpieczenie konstrukcji lekkich przęseł mostowych przed udarowymi uszkodzeniami jest istotnym elementem ich bieżącego utrzymania. Niejednokrotnie zastosowanie prostych środków zaradczych może w takich przypadkach przynieść skutki, które wielokrotnie obniżą koszty eksploatacyjne obiektu na etapie użytkowania. Ochrona taka powinna być zagwarantowana w przepisach o utrzymaniu mostów.

Literatura

1. PN-S-10030:1985: Obiekty mostowe. Obciążenia. Wydanie 2, 1988.
2. PN-EN 1991-2:2003: Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcję. Część 2: Obciążenia ruchome mostów. CEN, Bruksela 2003.
3. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 3 lipca 2003 r. w sprawie szczegółowych warunków technicznych dla znaków i sygnałów drogowych oraz urządzeń bezpieczeństwa ruchu drogowego i warunków ich umieszczania na drogach, Dz. U. nr 220, poz. 2181 i 2182.
4. Budka E., Lorenc W., Rabiega J., Zabezpieczenie kratownicowego przęsła wiaduktu kolejowego po uderzeniach, Archiwum Instytutu Inżynierii Lądowej Politechniki Poznańskiej, 4/2008, str. 13–20.
5. Rabiega J., Sposoby ochrony przęseł wiaduktów przed uderzeniami wysokich pojazdów, Inżynieria i Budownictwo, 6/1992, str. 194–197.