



JACEK CHRÓŚCIELWSKI, *jchrost@pg.gda.pl*

ANNA BANAŚ, *annbanas@pg.gda.pl*

MACIEJ MALINOWSKI, *mamalin@pg.gda.pl*

MIKOŁAJ MIŚKIEWICZ, *mmisk@pg.gda.pl*

ARKADIUSZ SITARSKI, *astar@pg.gda.pl*

Politechnika Gdańska WILiŚ KMBiM

## AWARIA WIADUKTU W M. BORKOWO NAD OBWODNICĄ TRÓJMIASTA

### PRICE OF HUMAN STUPIDITY – SENSELESS DAMAGE OF ROAD VIADUCT ABOVE THE BYPASS OF TRÓJMIASTO IN BORKOWO CITY

**Streszczenie** W referacie przedstawiono opis awarii drogowego wiaduktu wywołanej uderzeniem w obiekt ponadnormatywnego gabarytowo pojazdu. Zwrócono uwagę na skutki uderzenia, powodujące zniszczenie konstrukcji jednego z przęseł. Przedstawiono wyniki teoretycznych analiz statyczno-wytrzymałościowych wiaduktu w stanie awaryjnym oraz w fazach rozbiórki uszkodzonego przęsła. Omówiono sposób doraźnego zabezpieczenia obiektu oraz warunki dalszej jego eksploatacji.

**Abstract** The aim of his paper is to describe the damage of road viaduct caused by impact of above-average vehicle. This paper presents a comprehensive overview of the effects of the impact and current technical condition of the viaduct. The results of theoretical static analysis after the failure and during the stages of pulling down the damaged span are shown. Finally temporary preservation and the perspective of future exploitation are discussed.

### 1. Wstęp

Prace mające na celu rozwój infrastruktury zintensyfikowane w ostatnich latach wiążą się również ze wzmożonym ruchem pojazdów ponadnormatywnych oraz ponadgabarytowych. Z założenia trasa takich pojazdów powinna być szczegółowo zaplanowana, dostosowana do skrajni drogi oraz uzgodniona z odpowiednimi organami i instytucjami. Często jednak niefrasobliwość oraz brawura kierowców jak i przewoźników mogą prowadzić do zagrożenia bezpieczeństwa ruchu jak również bezpieczeństwa samych obiektów inżynierskich, które znajdują się na trasie pojazdu ponadnormatywnego.

Aby ustrzec się przed przypadkowymi uderzeniami pojazdów ponadgabarytowych w konstrukcje często wprowadza się różnego rodzaju zabezpieczenia w postaci bram ograniczających skrajnie przed obiektem, sygnalizacji świetlnej oraz znaków ostrzegających. Jednak jak pokazują wypadki drogowe [1, 2] nawet takie działania prewencyjne nie są w stanie zawsze powstrzymać kierowców przed próbami „zmieszczenia” się pod obiektem. Często takie próby prowadzą do uszkodzenia konstrukcji przęsła do tego stopnia, że konieczne jest częściowe lub całkowite zamknięcie ruchu na oraz pod obiektem [3, 4].

Obecnie stosowne normy [5] przewidują na etapie projektowania możliwość uszkodzenia konstrukcji, poprzez przyłożenie do jej spodu obciążenia w postaci siły zastępczej.

Zabezpiecza to teoretycznie przed katastrofą spowodowana poprzez przekroczenie SGN, nie wyklucza jednak znacznych uszkodzeń jakich może doznać sama konstrukcja [6].

Uszkodzenia konstrukcji obiektu inżynierskiego nie można wiązać jednak tylko ze skutkami ekonomicznymi w postaci kosztów naprawy, ewentualnej rozbiórki czy odbudowy. Należy również uwzględnić skutki społeczne [7], o których wadze możemy mówić w zależności od znaczenia komunikacyjnego uszkodzonej konstrukcji.

Jednym z ostatnich przykładów głupoty i braku wyobraźni jest uszkodzenie konstrukcji wiaduktu znajdującego się w m. Borkowo nad obwodnicą Trójmiasta, która jest z jednym z ważniejszych szlaków komunikacyjnych w województwie pomorskim.

## 2. Charakterystyka obiektu

Wiadukt usytuowany jest w ciągu drogi gminnej Borkowo-Jankowo nad drogą krajową nr 6 Szczecin – Łęgowo (Obwodowa Trójmiasta) w km 349+230 w m. Borkowo. Konstrukcję nośną obiektu stanowi czteroprzęsłowy ramowy ustrój belkowo-płytowy o rozpiętości przęseł 15,15+15,80+15,80+15,15m. Rygiel ramy tworzą cztery prefabrykowane belki sprężone typu korytkowego BSK-15, uciągłone nad podporami. Szerokość całkowita ustroju wynosi 7,50 m. Konstrukcja nośna przęseł zespolona jest z ryglami podpór pośrednich – filarów. Rygle, o zmiennej wysokości, spoczywają na pojedynczych słupach żelbetowych posadowionych bezpośrednio na stopach fundamentowych. Na połączeniu słup – rygiel wykonstruowane są żelbetowe przeguby. Podpory skrajne to przyczółki betonowe, masywne z podwieszonymi skrzydłami, posadowione bezpośrednio na ławach fundamentowych.

## 3. Opis awarii – uszkodzeń

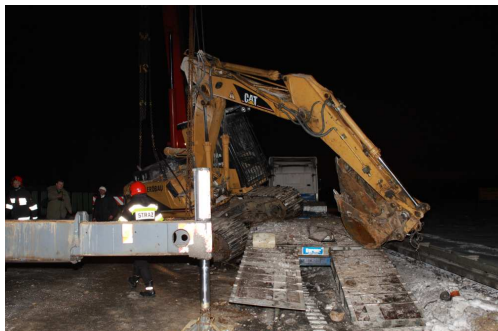
W dniu 2011-01-04 około godziny 17 uszkodzona została konstrukcja nośna przęsła nr 2 wiaduktu w wyniku uderzenia ponadnormatywnego gabarytowo pojazdu – koparki przewożonej na lawecie [8] (rys. 1). Koparka nie miała złożonego ramienia z powodu – jak wyjaśniał przedstawiciel właściciela sprzętu – awarii siłowników (rys. 2). Pojazd miał więc wysokość znacznie przewyższającą normową skrajnię drogową i nie posiadał wymaganych prawem zezwoleń na przewóz ładunku ponadnormatywnego.



Rys. 1. Widok ogólny uszkodzonego przęsła bezpośrednio po uderzeniu

Znacznemu uszkodzeniu uległy trzy z czterech dźwigarów głównych w środkowej części drugiego przęsła (rys. 3, 4, 5). W dźwigarze nr 1 (od strony kierunku uderzenia) na długości ok. 5 m został całkowicie zniszczony beton stopiek belki i w przeważającej części obu środków, cięgna sprężające i zbrojenie miękkie zostały zerwane. Na filarze środkowym nastąpiło częściowe odspojenie belki nr 1 od pozostałej części rygla – pionowa rysa na końcu

prefabrykowanego dźwigara. W dźwigarze nr 2 na długości ok. 5 m od strony kierunku uderzenia został całkowicie zniszczony beton stopki belki i w przeważającej części środnika, cięgna sprężające i zbrojenie miękkie zostały zerwane, analogiczne uszkodzenia drugiego środnika i stopki występują na długości ok. 3 m. W dźwigarze nr 3 na długości ok. 4 m od strony kierunku uderzenia został całkowicie zniszczony beton stopki belki i w znacznej części środnika, cięgna sprężające i zbrojenie miękkie zostały zerwane. Drugi środnik belki i stopka nie zostały praktycznie uszkodzone.



Rys. 2. Sprawca awarii

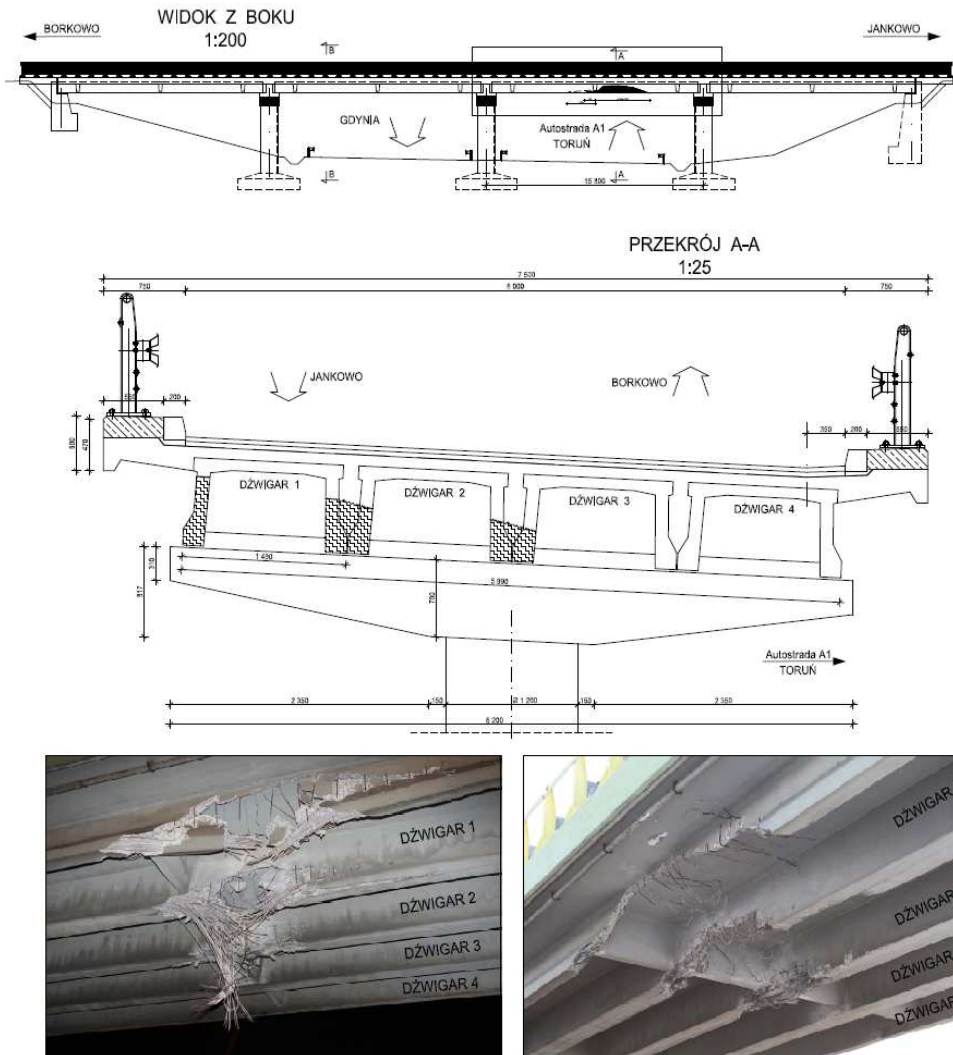


Rys. 3. Szczegóły uszkodzeń



Rys. 4. Szczegóły uszkodzeń

Na skutek uderzenia w przęsło nr 2 praktycznie trzy z czterech dźwigarów wyłączyły się z pracy w części środkowej zmieniając schemat statyczny (pracy) całego obiektu. Uszkodzone dźwigary przyjęły schemat nadwieszonych wsporników i nastąpiła redystrybucja ciężaru tej części konstrukcji na nowy układ statyczny obiektu. Przeciążenia doznały zarówno dźwigary uszkodzone w pozostałych ich częściach (przekroje podporowe) jak również dźwigary w przęsłach sąsiednich. W trybie natychmiastowym – do czasu przeprowadzenia analiz statyczno-wytrzymałościowych – obiekt został wyłączony z eksploatacji poprzez całkowite uniemożliwienie na nim ruchu. Dodatkowo konstrukcję uszkodzonego przęsła wsparto na podporach tymczasowych.



Rys. 5. Zakres uszkodzeń wiaduktu

#### 4. Analiza statyczno-wytrzymałościowa

W związku ze stanem awaryjnym obiektu przeprowadzono obliczenia statyczno-wytrzymałościowe wiaduktu. Rozważono następujące warianty obliczeń obiektu:

- stan nieuszkodzony (rys. 6) – w celu określenia poziomu sił wewnętrznych i naprężeń na jaki obiekt został zaprojektowany,
- stan uszkodzony (rys. 7) – odwzorowano zniszczenia konstrukcji przęsła nr 2 powstałe w wyniku uderzenia – wyznaczono siły wewnętrzne dające obraz wyężenia konstrukcji uszkodzonej,
- stan po demontażu przęsła nr 2 (rys. 8) – analizowano poziom sił wewnętrznych w pozostającej części obiektu w zmienionym schemacie statycznym w stosunku do pierwotnego,

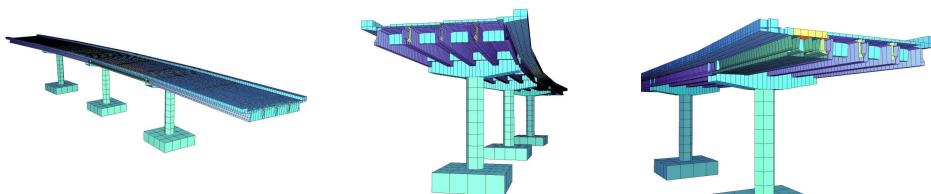
– stany odwzorowujące poszczególne fazy demontażu przęsła nr 2 (rys. 9) w celu sprawdzenia poziomu wyężenia konstrukcji, a w szczególności – rygli filarów.

Obliczenia statyczne wykonano metodą elementów skończonych (MES) w środowisku systemu SOFiSTiK. W dyskretyzacji wiadukt potraktowano jako układ belkowo – powłokowy. Płytkę pomostu oraz płyty fundamentowe modelowano elementami powłokowymi, dźwigary strunobetonowe, poprzecznice-przepony, rygle oraz słupy filarów – elementami belkowymi na mimośrodkach. Do dyskretyzacji części układu traktowanego jako powierzchniowy wykorzystano 2-wymiarowe, 4-węzłowe powłokowe elementy skończone typu Timoszenko-Reissnera. Elementy te są klasy  $C^0$ , z odpowiednimi modyfikacjami (wzbogaceniem) funkcji kształtu, które eliminują efekt blokady (zakleszczania). Są one całkowane metodą Gaussa regułą 4-punktową, tj. w sposób pełny (FI). Dźwigary oraz elementy filarów dyskretyzowano 1-wymiarowymi, 2-węzłowymi przestrzennymi elementami belkowymi. Elementy te są typu Timoszenki klasy  $C^0$  o liniowych funkcjach kształtu. Ich równania konstytutywne uwzględniają ścinanie. Ostateczny model obliczeniowy (po uwzględnieniu pewnych elementów analizy zbieżności rozwiązań MES) oparto na siatce 7.956 węzłów. Składał się on z 8.616 elementów powłokowych, 2.238 elementów belkowych, oraz 233 wieżów podporowych.

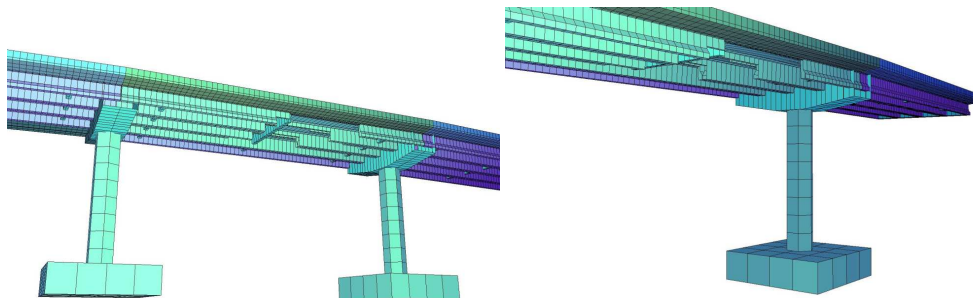
W modelach obliczeniowym uwzględniono następujące uwarunkowania konstrukcyjne:

- wzajemne położenie poszczególnych elementów konstrukcyjnych – mimośrodowo,
- pełne zespolenie płyty pomostu z belkami podłużnymi oraz belek z rygłem filara,
- przeguby na styku rygliel – słupy filarów,
- degradację/redukcję uszkodzonych dźwigarów w modelach analizujących stan awaryjny oraz fazy rozbiórki przęsła nr 2.

W obliczeniach rozważono następujące obciążenia i oddziaływania: obciążenie stałe konstrukcji nośnej oraz elementów wyposażenia z uwzględnieniem faz montażu obiektu, redystrybucję obciążenia stałego ciężarem uszkodzonych belek na zmieniony schemat statyczny, normowe obciążenie ruchome klasy D (tylko na układzie nieuszkodzonym), zmiany temperatury ustroju, obciążenie śniegiem.

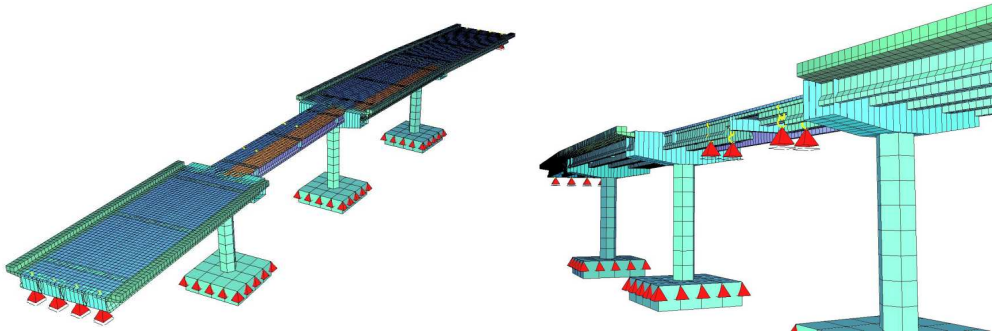


Rys. 6. Wizualizacja modelu obliczeniowego MES wiaduku w stanie nieuszkodzonym

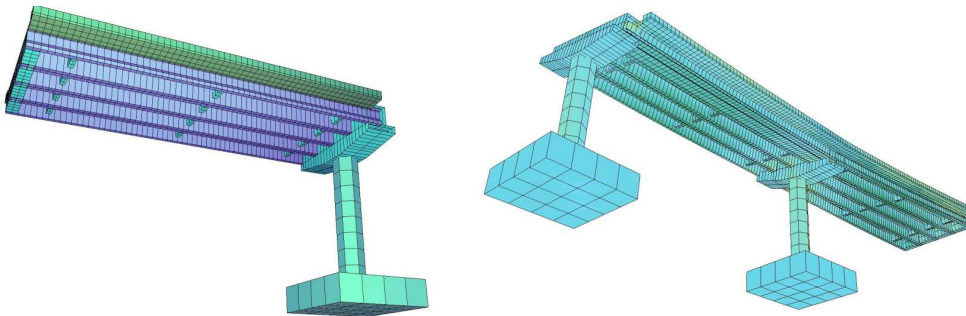


Rys. 7. Wizualizacja modelu obliczeniowego MES wiaduku w stanie uszkodzonym



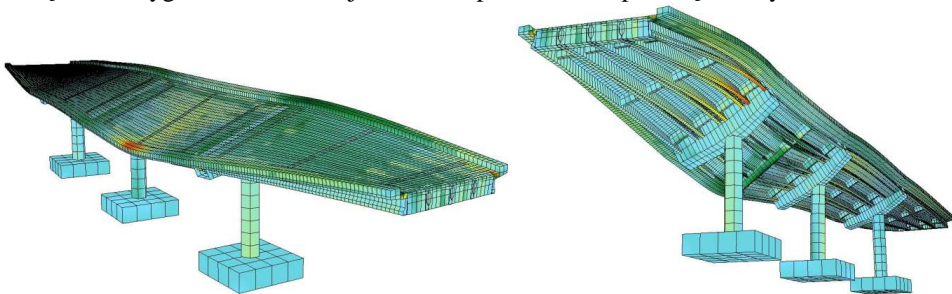


Rys. 8. Wizualizacja modelu obliczeniowego MES wiaduktu w stanie uszkodzonym w etapie 2 rozbiórki

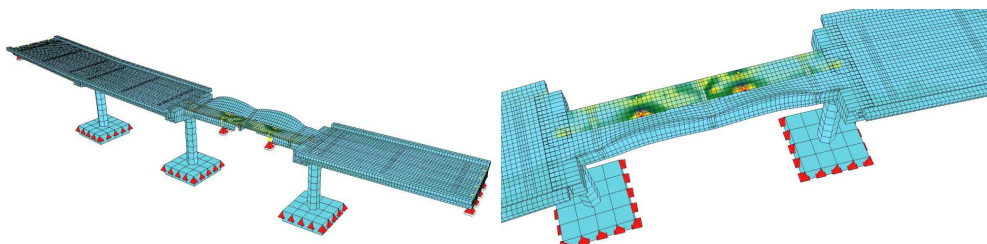


Rys. 9. Wizualizacja modelu obliczeniowego MES wiaduktu po rozbiórce przęsła nr 2

Przeprowadzone analizy statyczno-wytrzymałościowe konstrukcji wiaduktu wykazały, zgodnie z wcześniejszymi założeniami, że w wyniku uderzenia pojazdu zmienił się w znaczący sposób układ statyczny obiektu. Praktycznie całkowicie zniszczone trzy dźwigary w strefie środkowej przęsła nr 2 przyjęły schemat wsporników i nastąpiła redystrybucja ciężaru w obrębie całego obiektu. W zmienionym układzie statycznym pod wpływem obciążeń stałych z uwzględnieniem możliwych zmian temperatury i zalegania śniegu, stwierdzono przeciążenie ustroju nośnego wiaduktu zarówno w strefach podporowych uszkodzonych dźwigarów jak i dźwigarów w przęsłach sąsiednich (rys. 10, 11). Zwiększyły się także siły wewnętrzne w ryglach filarów, co jednak nie spowodowało przeciążenia tych elementów.



Rys. 10. Wizualizacja stanu wyteżenia na skutek redystrybucji ciężaru własnego uszkodzonej części konstrukcji



Rys. 11. Wizualizacja stanu obciążenia w jednym z etapów rozbiórki – wpływu demontażu jednego z dźwigarów na pozostałą część konstrukcji

### 5. Zalecenia dotyczące naprawy i dalszej eksploatacji

Na podstawie przeprowadzonych obliczeń statyczno-wytrzymałościowych oraz analiz zakresu i stopnia uszkodzeń konstrukcji stwierdzono, że obiekt jest w stanie awaryjnym i nie nadaje się do użytkowania. Uzasadniona okazała się decyzja o zamknięciu obiektu i konieczności podparcia tymczasowego uszkodzonego przęsła. Zabezpieczenie to wymagało wyłączenia z eksploatacji prawego pasa ruchu jezdni obwodnicy pod przęsłem nr 2. Ponadto, techniczne wyizolowanie uszkodzonej części obiektu zmniejszyło w znacząco prawdopodobieństwo ponownego uderzenia pojazdów ponadnormatywnych w uszkodzoną część konstrukcji, co tym razem mogłoby spowodować katastrofę budowlaną. Po wykonaniu wspomnianych tymczasowych zabezpieczeń obiekt nie stanowi bezpośredniego zagrożenia dla bezpieczeństwa ruchu drogowego na obwodnicy Trójmiasta.

Ekonomicznie i technicznie nieuzasadniona jest naprawa i wzmocnienie uszkodzonego przęsła. Przęsło nr 2 należy całkowicie rozebrać i wbudować nową konstrukcję zespalając ją i uciągając z pozostałą częścią ustroju obiektu. Z uwagi na stopień i zakres uszkodzeń jak również na konstrukcję filarów (przeguby na styku słup – rygiel) technologia rozbiórki przęsła musi być tak dobrana, aby nie doprowadzić w czasie prowadzenia prac rozbiórkowych do przeciążenia i uszkodzenia rygli filarów. W celu zabezpieczenia przed nadmiernym obrotem i skręceniem rygli filarów należy je dodatkowo zabezpieczyć poprzez tymczasowe podparcie rygli lub sąsiednich przęseł bezpośrednio przy tych podporach. Koniecznym jest także dodatkowe podparcie w czasie rozbiórki uszkodzonych dźwigarów przęsła nr 2.

### 6. Wnioski

Udarowe uszkodzenia obiektów mostowych zdarzają się niestety coraz częściej. W zdecydowanej większości przypadków są one wynikiem braku wyobraźni przewoźników i całkowitej ignorancji przepisów i ograniczeń.

W przypadku obiektów o ograniczonej skrajni drogowej pod konstrukcją jedynym spełniającym postawione zadania sposobem zabezpieczenia ustroju jest stawianie bram ostrzegawczych. Muszą to być jednak konstrukcje „skuteczne”, bardzo często obserwuje się takie bramy, których nawet „nie poczują”, a przez co nie zauważą przejeżdżające gabarytowo ponadnormatywne pojazdy. Zaś w przypadku zachowania normowej skrajni pod obiektem można jedynie liczyć tylko na odpowiedzialność i wyobraźnię przewoźnika.

Skutki tego typu awarii obiektów mostowych są znaczne zarówno pod względem ekonomicznym jak i społecznym. W omawianym przypadku można mówić o „szczęściu w nieszczęściu”, bowiem kilkaset metrów dalej nad obwodnicą jest budowany nowy wiadukt, pod którym ustawione były rusztowania, a skrajnia pionowa była o 0,5 m mniejsza niż pod obiektem, który uległ uszkodzeniu. W czasie, kiedy wydarzył się opisywany wypadek

na tym wznoszonym obiekcie pracowali robotnicy. Nietrudno sobie wyobrazić co by się stało, gdyby ten zestaw uderzył w budowany obiekt ...

### **Literatura**

1. <http://www.mmtorun.pl/arttykul/wiadukt-w-toruniu-znowu-zablokowany-zdjecia-231428.html>.
2. [http://www.tvn24.pl/28385,1554784,0,1,kontakt\\_detal.html](http://www.tvn24.pl/28385,1554784,0,1,kontakt_detal.html).
3. Budka E., Lewandowski G., Kozuch M., Lorenc W., Rabiega J. Przykłady uszkodzeń konstrukcji mostowych spowodowanych uderzeniami pojazdów, XXIV Konferencja Naukowo-Techniczna „Awarie Budowlane”, Szczecin-Międzyzdroje, 26-29 maja 2009.
4. <http://www.krakow.gddkia.gov.pl/media-o-nas/maj/843-koparka-powaznie-uszkodzila-wiadukt>.
5. Eurokod 1 – oddziaływanie na konstrukcje. Część 1-7: Oddziaływania ogólne –Oddziaływania wyjątkowe, maj 2003 roku, tłumaczenie wersji angielskiej – listopad 2003.
6. Radomski W., Dynamiczne przyczyny awarii mostów, XXIII Konferencja Naukowo-Techniczna „Awarie Budowlane”, Szczecin-Międzyzdroje, 23-26 maja 2007.
7. Radomski W., Społeczne skutki awarii mostów – przykład warszawski, XXI Konferencja Naukowo-Techniczna „Awarie Budowlane”, Szczecin – Międzyzdroje, 20-23 maja 2003.
8. Chróścielewski J., Malinowski M., Banaś A., Sitariski A.: Ekspertyza techniczna dotycząca uszkodzenia wiaduktu drogowego nr 17 nad obwodnicą Trójmiasta w km 349+230 w m. Borkowo, Politechnika Gdańska, WILiŚ, KMBiM, Gdańsk 2011.