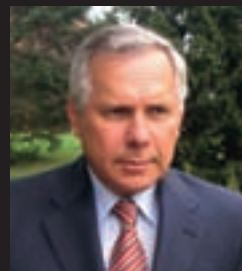


Specjalna korespondencja z USA o przyczynach zawalenia się mostu nad Missisipi

Tragedia w Minneapolis

dr Tadeusz C. Alberski, Departament Transportu Stanu Nowy Jork



Kiedy zdarzy się katastrofa mostu, na myśl przychodzą nam mosty, przez które przejeżdżamy codziennie w drodze do pracy i zadajemy sobie pytanie, co by było, gdyby któryś z nich zawalił się. Nic więc dziwnego, że spektakularna katastrofa w Minneapolis stała się tematem numer we wszystkich środkach masowego przekazu. Doszło do niej 1 sierpnia 2007 r. w największym mieście stanu Minnesota.

Około godz. 18.05, w porze szczytu, zawalił się most na autostradzie I-35W (*Interstate no 35*), łączący bliźniacze miasta Minneapolis i St. Paul. Ponad 50 samochodów osobowych runęło z wysokości ok. 18 m do Missisipi. Zsuwające się z walącego mostu auta miażdżyły te, które wpadły do rzeki wcześniej.

Z uwagą śledziłem relacje korespondentów ze Stanów i z Europy. Ton tych „eksperckich” relacji był bardzo różny, ale

¹ Departament of Transportation jest odpowiednikiem Ministerstwa Transportu, o ile stan jest odpowiednikiem kraju, np. europejskiego.

² Bezpośrednio po wypadku w informacjach prasowych podawano, że ADT dla tego mostu wynosi 141 tysięcy – trudno uwierzyć, że przez sześć lat, jakie upłynęły od napisania raportu przez ekspertów w tej dziedzinie, ruch zwiększył się tak bardzo.

³ Specyfikacja AASHO (*American Association of State Highway Officials*) z 1961 r. została zasadniczo zmieniona w części dotyczącej uwzględnienia zmęczenia materiałów po ogłoszeniu rezultatów badań naukowych Lehigh University z 1970 r. W tym samym czasie AASHO zmieniło nazwę na AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials*).

przeważało jedno podstawowe pytanie: jak do takiego wypadku mogło dojść w najbogatszym kraju świata? Przyznam, że jednym z najsurowszych sędziów „amerykańskiego bałaganu i braku zwykłej ludzkiej troski rządzących o rządzonych” był korespondent polskiej telewizji. On znał odpowiedź i choć jej wprost nie przekazał, to bardzo wyrazię zasugerował ją telewizjom. Oj, dostało się przy tej okazji administracji prezydenta Busha... No cóż, zawsze sądziłem, że obowiązkiem reporterów jest relacjonowanie zaistniałych wydarzeń, a nie wypowiadanie własnych poglądów.

Odpowiedzi na pytanie, co spowodowało katastrofę, która zabrała kilka istnień ludzkich nie poznamy szybko. Wyjaśnianie przyczyn zajmie tygodnie, a może nawet miesiące. Od 15 lat pracuję w nowojorskim Departamencie Transportu¹, a dokładniej w Oddziale Mostowym tego Departamentu. Okoliczności każdej katastrofy są tu bardzo uważnie śledzone, gdyż dokładne analizy mogą ustrzec przed błędami konstrukcyjnymi w przyszłości.

Już następnego dnia po tragedii na moim biurku znalazł się *Fatigue Evaluation of the Deck Truss Of Bridge 9340 – Final Report of I-35W bridge* z 2001 r., opracowany dla Minnesota Department of Transportation przez University of Minnesota, Department of Civil Engineering. We wstępie do raportu napisano m.in.: „Most 9340 stanowi ośmiopasmową (cztery pasma ruchu w każdym kierunku) przeprawę przez rzekę Missisipi, bezpośrednio na wschód od centrum Minneapolis. Średnie dzienne natężenie ruchu (ADT – *Average Daily Traffic*) w jednym kierunku wynosi 15 tys. pojazdów, w tym ok. 10% pojazdów ciężkich (*trucks*)². Wybudowany w 1967 r. most składa się z przęsła głównego o konstrukcji kratowej z zespolonym pomostem betonowym (*deck truss*) oraz przęseł dojazdowych (*approach spans*) z obu stron przęsła głównego. Konstrukcję tych przęseł stanowią dźwigary stalowe z zespolonym pomostem betonowym. Rozpiętości poszczególnych przęseł wynoszą: przęsło główne 139 m, północne i południowe przęsła dojazdowe po 80,8 m oraz przęsła wspornikowe odpowiednio 11,6 m i 10,9 m. Most zaprojektowano w oparciu o standardową specyfikację AASHO z 1961 r.”³



Raport powstał na zlecenie władz Departamentu Transportu Stanu Minnesota, zaniepokojonych powtarzającymi się relacjami inspektorów kontrolujących konstrukcję mostu. Informowano w nich o pęknięciach i rysach w elementach przęseł dojazdowych. Sygnały te zaczęły napływać już na początku lat

90. i jednoznacznie sugerowały, że przyczyną powstania tych pęknięć było zmęczenie materiału (*fatigue*). 79-stronicowe opracowanie specjalistów z uniwersytetu kończyło się podsumowaniem i wnioskami. Warto przytoczyć choćby ich fragmenty dla zobrazowania technicznego stanu mostu sprzed sześciu laty.

Na podstawie wizualnej inspekcji nie wykryto spękań zmęczeniowych w elementach głównych kratownicy (pkt 1 raportu). Pod wpływem kontrolowanego obciążenia testowego największe naprężenie – 46 MPa odnotowano w elemencie U4U6 i było ono mniejsze od krytycznego naprężenia dla tego elementu, które wynosi 48 MPa (pkt 2). Podczas normalnego ruchu na moście największe naprężenie odnotowano w innym elemencie kratownicy, oznakowanym jako L3U4, i wynosiło 22 MPa (pkt 3). Ponadto we wnioskach wspomniano, że teoretyczne wyniki otrzymane w trakcie analizy trójwymiarowego mostu w pełni korelowały z wynikami obciążeń testowych, jak również obciążenia normalnym ruchem kołowym. W punkcie 8 podsumowano rezultaty teoretycznych analiz w następujący sposób: „*Since the measured and calculated stress range were less than the fatigue threshold, it is concluded that fatigue cracking is not expected in the deck truss of this bridge*”. W końcowych zdaniach raportu zalecono inspekcje zagrożonych elementów co sześć miesięcy. Późniejsze dyskusje, oparte o powyższy raport oraz kolejne inspekcje, doprowadziły do wniosku, że konstrukcja mostu będzie wymagać całkowitej wymiany w 2020 r.

Czyżby podczas tak dokładnych inspekcji, powtarzanych wielokrotnie w całym okresie poprzedzającym fatalny dzień i wykonywanych przez specjalistów z olbrzymią praktyką i wiedzą teoretyczną popełniono jakiś błąd? A może po prostu brak jest wystarczającej wiedzy, którą posiadziemy dopiero w przyszłości? Możliwe, że z obserwacji wciąż nie do końca poznanych zjawisk zachodzących w konstrukcjach stalowych wyciągano niewłaściwe wnioski, a co za tym nie podjęto odpowiednich działań we właściwym czasie.

Wyniki obliczeń, dokonywane w oparciu o klasyczne prawa teorii wytrzymałości materiałów, różnią się niekiedy diametralnie od otrzymywanych przy pomocy nie tak przecież dawno wprowadzonej do praktyki metody elementów skończonych (FEM)⁵. Szczególnie w sytuacji koncentracji naprężeń (właśnie z takim zjawiskiem mamy do czynienia w konsekwencji powstania rys zmęczeniowych) wyniki obliczeń przy zastosowaniu FEM są zasadniczo różne. Trudno jest zatem zarzucać dziś komukolwiek, że tragedia była wynikiem zaniedbań lub zaniechania koniecznych działań.

Jakkolwiek żadnych rys ani spękań nie wykryto ani w elementach kratownicy przęsła głównego, ani również w poprzecznicach podpierających betonowy pomost, to w ocenie inspektorów wiele elementów zostało zaprojektowanych niezgodnie z przepisami wprowadzonymi w specyfikacji po 1970 r.

Nieco inaczej sytuacja miała się z przeszłymi dojazdowymi. Tam niejednokrotnie zauważano, ale i natychmiast reperowano, spękania zmęczeniowe w elementach podpierających betonowy pomost. Ale czy nawet przegapienie jakiegoś poważniejszego pęknięcia mogło spowodować coś więcej niż lokalną awarię i przysłowiową dziurę w moście? Trudno jest odpowiedzieć twierdząco na to pytanie, niemniej przy całym zbiegu nieszczęśliwych przypadków mogło się tak zdarzyć.

Warto w tym miejscu wspomnieć o szeroko komentowanym przez media fakcie, że już podczas inspekcji w 1990 r. wykryto pęknięcia zmęczeniowe w poprzecznicach w rejonie dylatacji. Owe spękania nie dotyczyły przęsła głównego, lecz przęsła dojazdowego. Usterka została natychmiast usunięta, ale Departament Stanu Transportu Minnesota wprowadził od 2003 r. obowiązek corocznej pełnej inspekcji tego mostu, zamiast rutynowej inspekcji dokonywanej co dwa lata.

⁴ Tłumaczenie: „Z uwagi na to, że zarówno poziom naprężeń zmierzonych, jak również obliczonych teoretycznie jest mniejszy od dopuszczalnego poziomu naprężeń zmęczeniowych, przyjmuje się, że spękania zmęczeniowe nie powinny wystąpić w przęsle kratowym z pomostem zespolonym tego mostu”.

⁵ FEM (*Finite Element Method*) – metoda elementów skończonych.



Z dostępnej po katastrofie budowlanej dokumentacji fotograficznej mostu przez Missisipi w Minneapolis mogą stwierdzić, że konstrukcja nośna mostu w jego części nurkowej składa się ze stalowej kratownicy, a w części pozostającej z układów belek stalowych. Pomost w postaci płyty z betonu zbrojonego nie współpracuje z konstrukcją stalową. Niezwykle zmienny i dziwny jest fakt, że katastrofa rozpoczęła się od przęsła środkowego, które runęło do rzeki niemal w całości równoległe. Świadczy to o równoczesnym (lub niemal równoczesnym) wystąpieniu zniszczeń konstrukcji stalowej w obu przekrojach podporowych środkowego przęsła kratownicowego! Konstrukcja nośna sprawia wrażenie dobrze utrzymanej, bez większych zjawisk korozyjnych. Jest typową konstrukcją z połowy XX w. i trudno się oprzeć wrażeniu, że jest zbyt delikatna, bardzo filigranowa, zbudowana z elementów o bardzo małych przekrojach poprzecznych. W okresie jej eksploatacji znacznie zwiększyły się obciążenia i oddziaływania, co niewątpliwie wpływało na szybkość kumulacji uszkodzeń, a co za tym idzie przekroczenia wytrzymałości eksploatacyjnej. Zmęczenie (i ewentualne wady) materiału mogły wystąpić w bardzo delikatnych, rozciąganych pasach lub ich połączeniach nad podporami. Tłumaczyłoby to w jakimś stopniu mechanizm zniszczenia przęsła środkowego. Nic mi jednak nie wiadomo o technologii prac remontowych, prowadzonych bezpośrednio przed i w trakcie katastrofy. Z pewnością przyczyną tragedii było kilka. Posiadam zbyt mało danych, aby je bardziej precyzyjnie określić.

dr hab. inż. Marek Łagoda, prof. nzw.,
Katedra Budownictwa Drogowego Politechniki Lubelskiej,
Instytut Badawczy Dróg i Mostów, Warszawa

Dlaczego zatem doszło do tak tragicznego wypadku? Dochodzenie przyczyn może zająć, jak już wspominałem, bardzo długi okres. Jakkolwiek długo nie miałyby to trwać, wnioski z wypadku zostaną wyciągnięte, a odpowiednie korekty przepisów wprowadzone w życie w całym kraju. Taka jest amerykańska praktyka nie tylko w dziedzinie budowy mostów. Może i w Polsce warto byłoby zainteresować się tymi wnioskami? Zawsze to taniej uczyć się na cudzych błędach niż na własnych.

Czasami wypadki mostów zdarzają się na skutek oczywistych przyczyn, jak ten w 1980 r., kiedy barka uderzyła w podporę mostu Florida's Sunshine Skyway, a walący się most spowodował śmierć 35 ludzi. Podobnie stało się w 1964 r. w stanie Louisiana, gdzie zginęło 14 osób, a także w 2002 r. w stanie Oklahoma, niedaleko Webbers Falls, gdzie również zginęło 14 osób.

Czasami wypadki mostów spowodowane są przez mniej oczywiste i dużo trudniej wykrywalne przyczyny. Tak stało się np. w 1967 r., kiedy o katastrofie mostu nad Ohio River, łączącego stany Ohio i West Virginia, zdecydowało zmęczenie materiałowe jednego trzpienia łożyskowego. Straciło życie wtedy 46 osób. Równie trudną do rozwiązania zagadką stanowiła katastrofa mostu przez rzekę Mianus w stanie Connecticut w 1983 r. Dopiero po wielu miesiącach znaleziono przyczynę, którą była korozja



Oglądając zdjęcia z katastrofy mostu na rzece Missisipi rodzą się refleksje i oczywiste odniesienia do sytuacji krajowej. Jak mogło do tego dojść, skoro remontowany właśnie most autostradowy przeszedł odpowiednie procedury kontrolne i był pod nadzorem inżynierów. Nie znamy wszystkich faktów technicznych, trudno dziś zatem o jednoznaczne konkluzje. Ostatnie raporty (2007) o stanie mostów i wiaduktów w województwie śląskim podlegających Zarządowi Dróg Wojewódzkich wykazują, że jedynie znikoma ich część (ok. 2,6%) spełnia obecnie podstawowe wymagania techniczne. Wiele obiektów jest w stanie określanym jako krytyczny. Stan licznych, zwłaszcza zlokalizowanych na terenach górniczych, wymaga natychmiastowej interwencji. Dla tych obiektów to już przysłowiowy ostatni dzwonek, poprzedzający decyzję o ich wyłączeniu z ruchu. Katastrofa w Minneapolis powinna uświadomić decydentom oraz użytkownikom, że nie tylko ludzie, ale też i mosty się starzeją, i to w przyspieszonym tempie. Ta katastrofa to synonim zawatu, który pojawia się nagle, przynosząc ludzkie tragedie i straty materialne. Musimy umieć wyciągnąć z tego wnioski.

dr hab. inż. Kazimierz Klocek, prof. Politechniki Śląskiej,
kierownik Katedry Dróg i Mostów oraz Zakładu Dróg i Kolei



powiązana z rysą zmęczeniową jednego z bardzo drobnych elementów konstrukcji stalowej. Zginęły wtedy trzy osoby.

Analizując informacje podawane przez media, a także wczytując się w raporty z corocznych inspekcji mostu przez Missisipi trudno wyrokować, co naprawdę stało się przyczyną tej katastrofy. Większość specjalistów skłania się ku teorii związanej ze zmęczeniem materiału. O ile to prawda, to dlaczego nie nastąpiło najpierw lokalne zawalenie, które w konsekwencji mogłoby pociągnąć za sobą całą konstrukcję trzech niezależnych przęseł? Trwałoby to co najmniej kilkadziesiąt sekund, podczas gdy cała katastrofa trwała raptem niecałe 4 sekundy. A może to zdarzenie ma związek z prowadzonymi w tym czasie pracami remontowymi mostu? W fatalnym dniu ruch pojazdów odbywał się tylko na dwóch pasmach, gdyż dwa pozostałe

w obu kierunkach zostały wyłączone z ruchu ze względu na prowadzone prace remontowe (zalecane w jednym z raportów po corocznej inspekcji mostu). Właśnie dokonywano wymiany nawierzchni oraz wymiany barier energochłonnych i słupów oświetleniowych. Na moście znajdowały się pracujące maszyny. Może to one doprowadziły do wibracji mostu o częstotliwościach zbliżonych do częstotliwości drgań własnych konstrukcji, a te przekazane zostały na inne przęsła poprzez dość wiotkie (wysokie) podpory? Niektórzy świadkowie zdarzenia wspominali o nienormalnych wibracjach odczuwanych tuż przed katastrofą. Nałożenie się wibracji, korozji oraz zmęczenia materiału mogło dokonać tragicznego dzieła zniszczenia.

Zaprzestaję dalszych dywagacji o możliwych przyczynach tej tragedii, gdyż wróżenie z fusów nie ma sensu, a już szczególnie w rozwiązywaniu problemów inżynierskich. Należy oczekiwać na wyniki oficjalnego dochodzenia, prowadzonego obecnie przez najlepszych ekspertów od takich zagadek. Warto jednak zatrzymać się przy temacie katastrof mostowych. W Stanach Zjednoczonych w użytkowaniu znajduje się obecnie 607 363 mostów. Na podstawie najnowszych inspekcji eksploatowanych konstrukcji obliczono, że ponad 73 500 mostów (ok. 12%) posiada wady konstrukcyjne, które powinny zostać usunięte dla bezpieczeństwa użytkowników. Kosztorys szacunkowy na wymagane reperacje opiewa na ok. 190 mld USD. A przecież każdego roku będzie przybywać mostów z wadami konstrukcyjnymi i będą budowane nowe, a ceny robót mostowych wzrosną. Czy znajdzie się polityk, który potrafi wytłumaczyć społeczeństwu konieczność drastycznego zwiększenia podatków w imię podniesienia bezpieczeństwa przy przejeżdżaniu przez mosty? Wątpię. Zatem sytuacja będzie się raczej pogarszała niż polepszała, co wynika z porównania liczby wypadków z liczbą mostów. Być może w krajach bogatych uda się otrzymać wskaźnik *structurally deficient* mostów na poziomie 10% i choć to bardzo realny wynik do osiągnięcia, to przecież nadal nie wyeliminuje zagrożenia wystąpienia wypadków.

A co z krajami, które znajdują się na początku trudnej drogi budowy bezpiecznej infrastruktury transportowej? Czy aby nie bardziej spektakularne dla decydentów jest otwieranie nowych mostów, na które czekają mieszkańcy wielkich miast i małych miejscowości niż remontowanie, jak w przypadku Polski, rozpadających się wytworów budowlanych lat 1970.? Przygnębiające wrażenie robi widok estakady Trasy Łazienkowskiej albo dojazdowe estakady mostu im. gen. Grota Roweckiego od spodu. Strach pomyśleć, jak wyglądają konstrukcje mostowe położone dalej od siedzib polityków i wpływowych decydentów. A przecież niejednemu z nas zdarzy się, choćby podczas wakacji, przejeżdżać przez most zapomniany przez Boga i ludzi (tych od decyzji).

Zdjęcia: AF



Największy w Polsce skład maszyn przeciskowych typu „kret”

HERCU Pneumatic

MONTAŻ MASZYN I DYSTRYBUCJA

ul. Nowowiejska 52

28-400 Pińczów

tel. +48 41 357 54 70

fax. +48 41 357 61 54

e-mail: kret@kret.pl

www.kret.pl



- **ponad 10 typów**
- **ponad 200 szt. urządzeń na składzie**
- **Największa oferta używanych sprężarek budowlanych** o wydajnościach 3 - 10 m³/min
- **oraz używane ręczne młoty pneumatyczne** o wadze 7 - 28 kg

SUGEROWANE PRZEZNACZENIE MASZYN:

HP 55 - instalacja rur PE do \varnothing 40 mm

HP 70 - instalacja rur PE do \varnothing 50 mm

HP 95 - instalacja rur PE do \varnothing 75 mm

HP 130L - instalacja rur PE do \varnothing 90 - 160 mm;

wbijanie rur stalowych do \varnothing 219 mm

HP 155 - instalacja rur PE do \varnothing 125 - 250 mm;

wbijanie rur stalowych do \varnothing 323 mm

HP 235T - wbijanie rur stalowych \varnothing 159 - 600 mm

HP 240T - wbijanie rur stalowych \varnothing 319 - 600 mm

HP 245T - wbijanie rur stalowych \varnothing 323 - 800 mm

HP 410T - wbijanie rur stalowych \varnothing 400 - 1400 mm



Nasza reklama w każdym kolejnym numerze



PROTEKT[®]

Poziome systemy asekuracyjne
EN 795 Klasa C

ul. Starorudzka 9

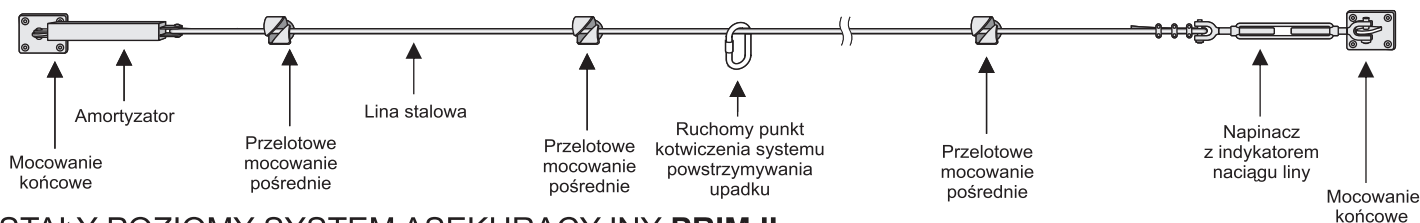
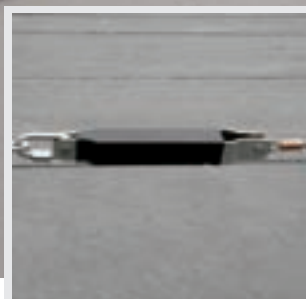
93-403 Łódź

tel. 0 42 6802083

www.protekt.com.pl

info@protekt.com.pl

fax 0 42 6802093



STAŁY POZIOMY SYSTEM ASEKURACYJNY PRIM II