

# Katastrofy i awarie mostów a rozwój wiedzy budowlanej, cz. 1



■ prof. dr hab. inż. Wojciech Radomski, Instytut Dróg i Mostów, Politechnika Warszawska

W artykule przedstawiono i zdefiniowano subiektywne oraz obiektywne czynniki wpływające na rozwój wiedzy budowlanej. Wskazano bariery tego rozwoju, posługując się przykładami historycznymi i współczesnymi. Opisano wpływ awarii i katastrof, szczególnie konstrukcji mostowych, na postęp w budownictwie.

W tekście, który ukaże się w następnym numerze „NBI”, zostaną scharakteryzowane te katastrofy, które stanowiły kamienie milowe tego postępu. Analizie poddany będzie wpływ doświadczeń wynikających z awarii i katastrof mostów na wzrost bezpieczeństwa ich budowy i użytkowania. Sformułowanych zostanie kilka wniosków i postulatów dotyczących relacji między bezpieczeństwem obiektów mostowych a nowymi rozwiązaniami materiałowymi i konstrukcyjno-architektonicznymi.

## 1. Uwagi wstępne

Zacznijmy od przedstawienia (lub lepiej, przypomnienia) kilku spraw o podstawowym znaczeniu, które dla wielu zdawać się mogą truizmami, ale w istocie nimi nie są, bo mimo ich ważnej roli, stale się o nich bądź zapomina, bądź też nie są dostatecznie mocno zakorzenione w świadomości inżynierskiej, a częstokroć i badawczej, związanej z szeroko rozumianym budownictwem.

Budownictwo jest jedną z najstarszych dziedzin działalności człowieka, mającą historię tak długą, jak dzieje cywilizacji. Nie miejsce tu na szczegółowe śledzenie jego rozwoju. Poprzestaniemy na potrzebnym do dalszych rozważań stwierdzeniu, że wiedza budowlana miała swoje prazródła w praktyce – to realizacje najrozmaitszych budowli, nawet tych uznawanych dziś za prymitywne, i ich użytkowanie dostarczały obserwacji, początkowo zwykle cząstkowych, później bardziej całościowych, które gromadzone przez kolejne generacje i przekazywane i wzbogacane przez następne, tworzyły z czasem dość spójny zasób informacji stanowiących to, co dziś określamy mianem wiedzy budowlanej.

Szczególną rolę w rozwoju tej wiedzy odgrywały różnego rodzaju niepowodzenia, w tym najbardziej drastyczne, bo katastrofy budowlane. O najdawniejszych katastrofach wiemy stosunkowo niewiele, choć występowały one na pewno. Więcej

wiemy o czasach nowożytnych, poczynając zwłaszcza od XIX w., w którym wskutek rozwoju kolejnictwa nastąpił wyraźny wzrost skali i znaczenia budowy mostów. Od początku XX w., szczególnie od lat 20., zauważyć można szybki rozwój dróg kołowych, a wraz z nimi burzliwy rozwój mostownictwa drogowego. Mosty kolejowe (relatywnie częściej) i mosty drogowe (relatywnie rzadziej) ulegały awariom i katastrofom, o których wiemy stosunkowo dużo (choć nie wszystko) i które, oprócz często tragicznych skutków, przynosiły – paradoksalnie – także pożytek w postaci pogłębienia i rozszerzenia wiedzy budowlanej właśnie.

Wiedza budowlana ma różne źródła. Była zdobywana przez lata i nadal jest rozwijana. Zostawiając historykom techniki szczegółowe rozpatrywania na ten temat, tu ograniczymy się do syntetycznego i popartego przykładami przedstawienia niektórych tylko, subiektywnie wybranych, aspektów tej wiedzy, jej podstawowych źródeł i barier rozwojowych.

## 2. Źródła wiedzy budowlanej

Wiedzę budowlaną i źródła jej rozwijania można rozpatrywać w różnych aspektach – technicznych, psychofizycznych, społecznych, ekonomicznych i kulturowych, w skali indywidualnej lub zbiorowej, formalnych lub nieusankcjonowanych żadnymi przepisami. Każdemu z nich poświęcić można niejedną obszerną rozprawę. Według zapowiedzianego poprzednio subiektywnego wyboru, za najważniejsze źródła wiedzy budowlanej można uznać następujące:

a) podpatrywanie przyrody i wzorowanie się na niej zarówno pod względem występujących w przyrodzie form i struktur, jak i naturalnych materiałów wykorzystywanych do celów budowlanych;

b) doświadczenia z poprzednich realizacji różnego rodzaju obiektów budowlanych i inżynierskich oraz ich funkcjonowania – mniej lub bardziej świadome oraz mniej lub bardziej sformalizowane

analizowanie tych doświadczeń i przekazywanie ich następnym pokoleniom w mniej lub bardziej usankcjonowany sposób (dydaktyka budowlana);

c) badania doświadczalne materiałów budowlanych i elementów konstrukcyjnych, tworzenie na ich podstawie teoretycznych metod obliczania (lub szerzej, projektowania) konstrukcji, które zwykle rozwijane są już w ramach wyodrębnionych teorii;

d) korzystanie z nauk podstawowych – matematyki, fizyki, chemii, ale i filozofii oraz estetyki, a także innych jeszcze nauk;

e) wyobraźnia, nowatorstwo pomysłów oraz intuicja inżynierska poparta własnym doświadczeniem – to zawsze ma wymiar indywidualny.

Źródła te, których można by wymienić znacznie więcej, wymagają krótkiego komentarza. W nawiązaniu do źródła a) warto zauważyć, że jest ono pierwotne i najstarsze, trwało całe wieki od czasów prehistorycznych i trwa nadal. Nie będziemy tu rozwijać wątków historycznych, tylko zwrócimy uwagę na aspekt całkiem współczesny, bo owo źródło – mimo swych dawnych korzeni – wciąż zachowuje aktualność. Warto więc zauważyć, że wszelkie próby dokładnego odtwarzania natury, a więc np. odwzorowywanie przekryć w postaci struktury liścia łopianu lub budowanie wysokościowców o strukturze bambusa, w realnych konstrukcjach budowlanych (ale też np. wzorowanie helikopterów na proporcjach wałki) kończą się niepowodzeniem. Konstrukcje budowlane i inżynierskie mogą wymienione naturalne struktury w większym lub mniejszym stopniu przypominać, ale mają jednak własną specyfikę, swoje prawa wytrzymałości, trwałości i komfortu eksploatacyjnego, które ściśle naturze nie odpowiadają. Niemniej jednak to natura właśnie jest pierwszym nauczycielem budowania, ale – dodajmy – przecież niebezkrytycznego jej kopiowania.

Natura była także (i często nadal pozostaje) dostarczycielką materiałów budowlanych

nych. Tego wątku nie będziemy tu rozwijać wobec wcześniejszego opracowania na ten temat [1]. Nadmienimy tylko, że budownictwo zawsze umiało i umie nadal twórczo korzystać pod względem materiałowym „z tego co jest”, przetwarzając „zastane”, tworząc ze znanych składników materiały bardziej przydatne do zastosowań konstrukcyjnych. Umie też – zwłaszcza współcześnie – sterować właściwościami materiałów odpowiednio do określonych potrzeb oraz – ze względu na swoją skalę – rozwijać masową ich produkcję. Najpierw rozeznanie i formułowanie, a następnie spełnianie tych określonych potrzeb, które dotyczą wytrzymałości, bezpieczeństwa, trwałości, funkcjonalności, ekonomii i estetyki wszelkich budowli – to właśnie dwa podstawowe składniki wiedzy budowlanej.

W nawiązaniu do źródła b) zauważmy, że jest ono bodaj najbardziej istotnym elementem gromadzenia i rozwijania wiedzy budowlanej oraz jej przekazywania w aspekcie, który stanowi główny przedmiot niniejszego opracowania. Źródło to bowiem obejmuje także analizę przyczyn i skutków wszelkich niepowodzeń, w tym awarii oraz katastrof budowli. To te zdarzenia, o tragicznych często konsekwencjach, mówią najczęściej o popełnionych błędach i stanowią lekcję ich unikania w przyszłych realizacjach. Ten wątek będzie jeszcze podejmowany w dalszym tekście, a jego doniosła rola w kształtowaniu działań inżynierskich, zwłaszcza projektowych, jest przedmiotem anglojęzycznej publikacji [2].

Źródła c) i d) to naukowe podstawy rozwoju wiedzy budowlanej. Rozwój ten napotykał w swojej historii na wiele barier w postaci błędnych rozumowań, nieumiejętnych powiązań teorii z praktyką, a także ograniczających lub wręcz hamujących postęp przepisów. Będzie to poparte przykładami w dalszej treści tego opracowania. Warto jednak zauważyć, że różnego rodzaju bariery rozwoju wiedzy budowlanej wynikającej z dociekań naukowych istnieją i obecnie. Świadczy to o żywości dziedziny, bo nie wszystko jest już w niej wiadome i dlatego wymagane są stale nowe badania doświadczalne, nowe ujęcia teoretyczne oraz nowe analizy numeryczne. To stwierdzenie, wskazujące na permanentny rozwój wiedzy budowlanej, też zostanie poparte przykładami.

Wreszcie źródło e), które wynika z indywidualnych cech mentalności i psychiki ludzi działających w sferze szeroko rozumianego budownictwa i związanych z nim nauk, jest kto wie czy nie głównym motorem postępu w tej sferze. U podstaw

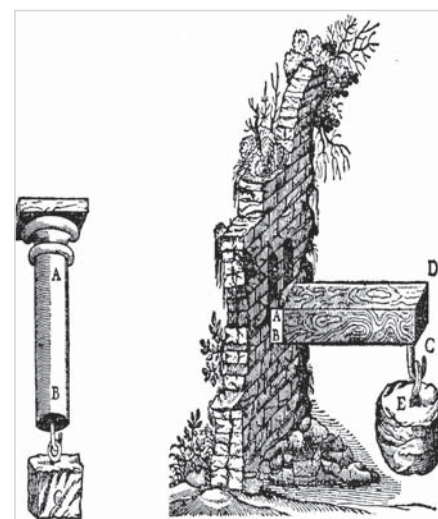
leży tu bowiem ciekawość inżynierska i badawcza, tworzenie innowacyjnych rozwiązań oraz chęć zbadania nowych zagadnień, słowem – dążenie do rozszerzenia zakresu poznania. Wszystkie te nowe elementy wymagają sprawdzenia – historycznie rzecz biorąc, najpierw opierano je na intuicji właśnie i poprzednich doświadczeniach (co nadal zachowuje ważność), potem na eksperymentach i formułowanych na ich podstawie teoriach, obecnie – niemal powszechnie – na modelowaniu numerycznym i symulacji komputerowej, co często zastępuje (i dodajmy, nie zawsze słusznie) badania doświadczalne, a także i intuicję inżynierską popartą praktyką (np. gdy przyjmowane są niewłaściwe modele konstrukcji lub źle interpretowane są wyniki pomiarów lub obliczeń). Ale znane metody sprawdzania nowych koncepcji mogą okazać się niewystarczające. Inaczej rzecz ujmując, zastana wiedza budowlana, mimo że zdawać się może bardzo obszerna i ugruntowana, może też nie wystarczać do weryfikacji tego, co podsuwa wyobraźnia projektanta i tworzone przez niego innowacyjne rozwiązania konstrukcyjne i materiałowe. Było i jest wiele takich przypadków. Z tej niewystarczalności zastanych metod wynika właśnie rozwijanie wiedzy budowlanej w zakresie teorii, doświadczalnictwa i praktyki wreszcie.

### 3. Bariery rozwoju wiedzy budowlanej

Bariery rozwoju wiedzy budowlanej najlepiej jest przedstawić, podając przykłady wskazujące jak to, co dla środowiska inżynierskiego (a nawet studentów) jest dziś oczywiste, kiedyś stanowiło sprawę nieznaną, niezrozumiałą lub błędnie pojmowaną.

Zacznijmy od przypadku dla nas obecnie najprostszego. Pierwsze udokumentowane doświadczenia dotyczące zginania belek wspornikowych (ryc. 1) były przeprowadzane przez Galileusza (1564–1642) [3].

Z zachowanych szkiców i opisów wynika, że nie odróżniał on w przekrojach poprzecznych (szczególnie w przekroju utwierdzenia) strefy ściskanej i rozciąganej – dla niego cały przekrój był rozciągany tak, jak to zilustrowano na rycinie 2a. Na rycinach 2b–2e pokazano, jak mozolnie wybitni uczeni sprzed wieków zbliżali się do prawdy dla nas tak oczywistej. Od badań Galileusza opublikowanych w 1638 r. do poprawnego rozwiązania Coulomba (1736–1806) w 1773 r. minęło aż 135 lat. A sprawa wydaje się taka prosta... Przykład ten wskazuje na ograniczoną naszego pojmowania zagadnień


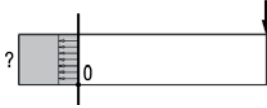

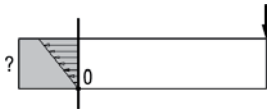

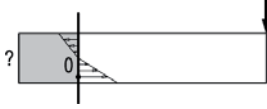

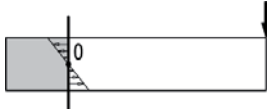

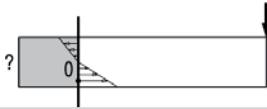


Ryc. 1. Belka wspornikowa badana przez Galileusza [3]

nowych. Przecież i dzisiaj wiele spraw nie rozumiemy w sposób właściwy lub o nich po prostu nie wiemy. A więc najpierwszą barierą rozwoju wiedzy, także budowlanej, jesteśmy my sami.

Drugi przykład dotyczy tak dziś często budowanych mostów o konstrukcji podwieszanej. Mosty takie, z pochyłymi cięgnami, budowano już na początku XIX w. Cechowała je jednak duża awaryjność, a nawet ulegały katastrofom. Słynny Claude Louis Marie Henri Navier (1785–1836) opublikował w 1823 r. pracę [4], z której pochodzi szkic pokazany na rycinie 3, i w której dowodził, że mosty o ukośnych cięgnach prostych są niebezpieczne, brzydsze od mostów wiszących z krzywoliniowymi cięgnami nośnymi, a ponadto nie cechuje ich ekonomiczność rozwiązania konstrukcyjnego w porównaniu z mostami o wieszakach pionowych, czyli w porównaniu z mostami wiszącymi. Autorytet Naviera był tak wielki, że zahamował on wykonywanie mostów podwieszonych aż na 126 lat. Dopiero bowiem Franz Dischinger (1887–1953) zwrócił w 1949 r. uwagę [5], że cięgna w pierwszych mostach podwieszonych nie miały żadnego wstępnego naciągu, wskutek czego ich efektywność w przenoszeniu obciążeń była niweczona przez zwis, dość znaczny w przypadku długich cięgien. Dlatego wpływ tych cięgien na zachowanie konstrukcji mógł się ujawnić dopiero wtedy, gdy przeszło doznawało już znacznych przemieszczeń. Dziś wiemy dzięki wzorowi H.J. Ernsta [6], że naprężenia w cięgniach ukośnym mają wielki wpływ na jego efektywny moduł Younga, a przez to przemieszczenia całej konstrukcji.

Współcześnie obserwowany jest rozkwit mostów o konstrukcji podwieszanej, czego wybitnym przykładem jest most Stonecutters w Hongkongu (ryc. 6).

|   |  |
|---|--|
|    | <p>Domenico Galileo Galilei (Włochy, 1564–1642)<br/> <i>Dialogi i dowodzenia matematyczne</i> (1638)<br/>                     Zginana belka wspornikowa:<br/>                     – wyznaczenie obciążenia niszczącego w belce wspornikowej,<br/>                     – założenie stałego rozkładu naprężeń w strefie rozciąganej,<br/>                     – oś obojętna w skrajnych włóknach ściskanych.</p>    |
|    | <p>Edme Mariotte (Francja, 1620–1684)<br/>                     Zginana belka wspornikowa:<br/>                     – trójkątny rozkład naprężeń w strefie rozciąganej, oś obojętna w skrajnych włóknach ściskanych.</p>   |
|  | <p>Antoine Parent (Francja, 1660–1726)<br/>                     Rozwinął teorię belek, podając rozkład naprężeń w przekroju belki zginanej w funkcji momentu zginającego.<br/>                     Udoskonalił teorię zginania belek:<br/>                     – oś obojętna w obrębie przekroju belki wspornikowej.</p>    |
|  | <p>Charles Augustin de Coulomb (Francja, 1736–1806)<br/>                     Poprawne rozwiązanie (1773)</p>    |
|  | <p>Pierre-Simon Girard (Francja, 1765–1835)<br/> <i>Traité analytique de la résistance des solides</i> (1798) – pierwsza we Francji książka dotycząca wyłącznie teorii belek (rozciąganie, zginanie, sprężysty zakres pracy). Tytuł tej książki dał nazwę dyscyplinie: wytrzymałość materiałów. Poglądy Girarda na statykę belek są mniej oryginalne niż jego poprzednika, Coulomba. Jedyne nieco ulepszył teorię Mariotte'a dotyczącą belek zginanych. Reprezentował podobne stanowisko jak Antoine Parent.</p>  |

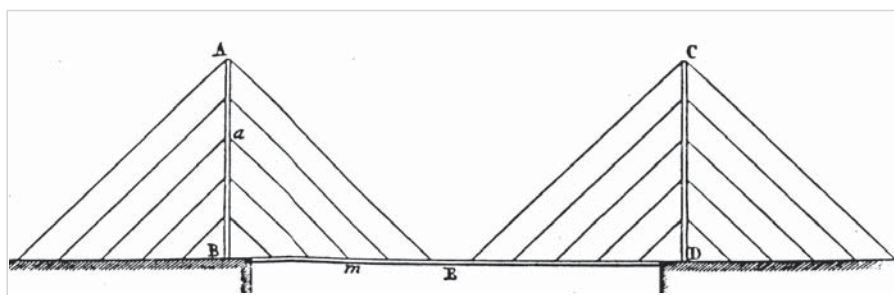
Ryc. 2. Historia belki wspornikowej (materiał uzyskany dzięki uprzejmości prof. Jacka Śliwińskiego z Politechniki Krakowskiej)

Warto jednak zauważyć, że gdy Dischinger ogłaszał swoją pionierską pracę, a następnie projektował i realizował stalowe mosty podwieszane z wstępnym naprężaniem ukośnych cięgien, znany już był i stosowany w mostownictwie beton sprężony. Była więc także produkowana odpowiednia stal do kabli sprężających. Idea naprężania kabli była z powodzeniem sprawdzona. Stąd tylko krok do stwierdzenia, być może ryzykownego, ale przecież niebezpiecznego, że bez konstrukcji z betonu sprężonego konstrukcje podwieszane musiałyby jeszcze troszeczkę poczekać na zdjęcie „kłutwy” Naviera. Przy okazji warto przypomnieć, że podobne działania jak Dischinger podjął we Francji w zakresie podwieszonych mostów betonowych Albert Caquot (1881–1976). Obaj należą więc bez wątpienia do prekursorów współczesnych mostów o tej właśnie konstrukcji.

Trzeci przykład wskazuje, jak niepokój światłego projektanta i budowniczego mostów, niepokój związany z „dziwnym” zachowaniem konstrukcji, prowadzącym zapewne do katastrofy, może dać początek nowej nauce, w tym przypadku reologii betonu. Otóż rzecz dotyczy mostu przez Allier w Veudre we Francji (ryc. 4).

Gdy patrzy się na jego sylwetkę aż trudno uwierzyć, że ten trójprzęsłowy obiekt (3 x 72,50 m) zbudowano w latach 1907–1911. Szkoda, że został zniszczony w 1940 r. podczas działań wojennych. Jego projektantem był Eugène Freyssinet (1879–1962), który swój niepokój o los mostu opisał we wspomnieniach [8]. Zaprojektował go zgodnie z najwyższym poziomem ówczesnego stanu wiedzy o betonie i kształtowaniu konstrukcji łukowych. Łuki były więc zaprojektowane i wykonane jako trójprzegubowe. W 1911 r., już w trakcie eksploatacji obiektu, Freyssinet zauważył z trwogą stałe obniżanie zworników łuków, w sumie o ponad 13 cm. O spostrzeżeniu nie powiadomił nikogo. Wraz z majstrem i trzema zaufanymi robotnikami podniósł za pomocą pras hydraulicznych połówki łuków do pierwotnego, wymaganego położenia i zlikwidował przeguby w zwornikach przez zabetonowanie przestrzeni między tymi połówkami. O działaniu tym, które podjął bez zamykania ruchu po moście, też nie powiadomił władz administracyjnych. W wyniku opisanego zachowania mostu, aż do jego zniszczenia w czasie II wojny światowej, nie budziło zastrzeżeń. Freyssinet, szukając przyczyn powstałej sytuacji, zrewidował wiele poglądów na odkształcalność





Ryc. 3. Most podwieszony przedstawiony w dziele Naviera [4]

betonu w funkcji czasu, m.in. odszukał wyniki badań, które były błędnie interpretowane przez komisję złożoną w większości z teoretyków, uznających za pewnik niezmienną współczynnik sprężystości betonu w czasie i jego stałość niezależnie od poziomu i zmienności naprężeń w czasie. Dociekania Freyssineta doprowadziły w konsekwencji do narodzin reologii betonu.

Warto w kontekście opisanych okoliczności zacytować pewien fragment jego wspomnień [8]: „Komisja kierująca badaniami zamiast rozpatrzyć przyczyny stwierdzonych odchyżeń odrzuciła wszystkie te anomalne odkształcenia jako wynikające z niedokładności pomiarów. Zrozumiałem wówczas, że konstruktorzy-teoretycy, stanowiący większość członków komisji, jeszcze przed rozpoczęciem doświadczeń byli przekonani, że beton może odkształcać się tylko według praw, które przypisywane stali pozwoliły zmienić naukę o konstrukcjach w zwykłą gałąź matematyki. Matematycy ci, zamknięci w świecie urojonym, niedopuszczającym żadnej rzeczywistości fizycznej, szukali w swych doświadczeniach jedynie potwierdzenia swoich pojęć. Przyjmowali więc za prawdę największe zniekształcenia pomiarów, aby potwierdzić swe błędne przekonania, odrzucali zaś jako fałszywe wszelkie obserwacje, które by mogły prowadzić do odstąpienia od panującej teorii lub skomplikować pojęcia”.

Odrzucając być może nadmierny krytycyzm Freyssineta wobec postaw teoretyków, warto jednak zastanowić się, czy w jego wypowiedzi nie ma ziarna prawdy, aktualnej i w naszych czasach. A sprawa niedoceniania lub złego szacowania reologicznych właściwości betonu mści się niemal do dziś. Najlepszym tego przykładem jest wielki most łączący dwie wyspy na Pacyfiku: Koror i Babekthuap w archipelagu Palau (ryc. 5a). Wybudowano go w 1978 r., stosując metodę betonowania nawisowego. Rozpiętość najdłuższego przęsła była równa 241 m, w jego środku uformowano przegub. Wskutek działania pełzania przegub ten po blisko 18 latach eksploatacji obiektu obniżył

się o 1,3 m (130 cm!) [9]. Postawiono temu zaradzić, likwidując przegub i odcinkowo sprężając środkową część długiego przęsła, co prowadziło oczywiście do zmiany pierwotnego schematu statycznego konstrukcji mostu i wynikającej z niej redystrybucji sił wewnętrznych. Jak zamierzano, tak też zrobiono. 27 września 1996 r. środkowe przęsło mostu uległo nagłemu zawaleniu (ryc. 5b).

Nie wszystkie przyczyny tego zostały do końca wyjaśnione. Oprócz nieprzystosowania bardzo sztywnych przęsła brzegowych do owej redystrybucji, powodów katastrofy upatrywano jeszcze w bardzo nierównomiernym rozkładzie temperatury w konstrukcji i stosunkowo niskiej jakości betonu. Oficjalny raport nie został jednak, według wiedzy piszącego te słowa, upubliczniony. Niemniej jednak, gdyby nie nadmierne pełzanie betonu, nie byłoby potrzeby ingerencji w konstrukcję mostu. Efekty reologiczne trzeba więc zawsze szczególnie starannie analizować.

#### 4. Źródła wiedzy o katastrofach i awariach mostów

Katastrofy mostów zdarzały się chyba od tak dawna, jak zaczęto mosty budować. Ograniczmy jednak nasze rozważania – zgodnie z wcześniejszą zapowiedzią – do czasów, w których zaczęto katastrofy mostowe rejestrować, dociekać ich przyczyn i traktować je jako swoistą naukę na przyszłość. Nasza wiedza o tych katastrofach jest w przeważającej większości wiedzą pośrednią i przesuniętą w czasie, i to często dość znacznie, w stosunku do ich zaistnienia. Jest tak dlatego, że opisy katastrof mostów (zresztą nie tylko ich) zamieszczane w ogólnie dostępnych źródłach oparte są zwykle na części tylko

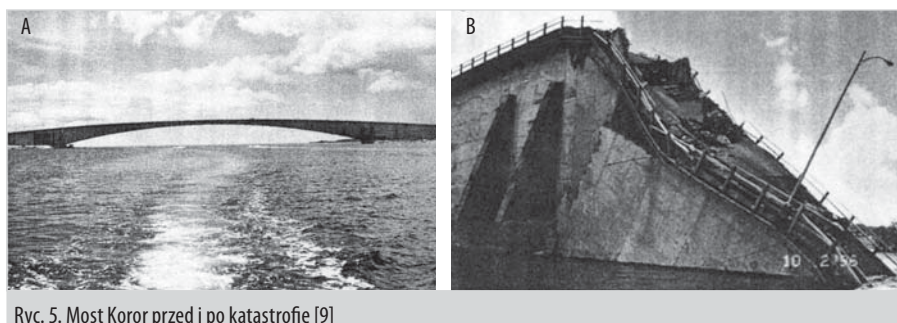
dokumentów oficjalnych – części, bo nie wszystkie są badaczom ujawniane, a jeśli do nich docierają, to właśnie z pewnym, nieraz wieloletnim opóźnieniem w stosunku do wystąpienia owych katastrof. Dlatego nierzadko więcej wiemy o katastrofach sprzed dziesięcioleci, gdy dochodzenie ich przyczyn dawno już zostało zamknięte, niż o tych, które miały miejsce ostatnio. Aspekt postępowania prawnego i prawnej odpowiedzialności jest tu czynnikiem decydującym o ograniczeniu dostępności wszystkich źródeł, dotyczących tych relatywnie niedawnych zdarzeń, nie mówiąc już o tych, co do których dochodzenie jeszcze trwa.

Wiadomości o katastrofach mostów, mimo ich kluczowego znaczenia dla rozwoju wiedzy budowlanej, są przedmiotem stosunkowo niewielu ujęć monograficznych, a to przede wszystkim wskutek wspomnianych już trudności w docieraniu do ich oficjalnego, szczegółowego i w pełni wiarygodnego udokumentowania. Jak można sądzić, pierwszą po II wojnie światowej pozycją monograficzną, w której zamieszczono rozdział poświęcony katastrofom mostów, jest tłumaczona z rosyjskiego pozycja [10], wydana w 1956 r. Na monografię polskich autorów, poświęconą wyłącznie katastrofom i awariom mostów, trzeba było czekać aż do 1986 r. [11]. Oczywiście, wiadomości na ten temat można czerpać i ze źródeł rozproszonych, głównie artykułów i referatów konferencyjnych (w tym oczywiście zamieszczonych w materiałach konferencji *Awarie budowlane*), ale w odniesieniu do konstrukcji mostowych są to pozycje na szczęście raczej nieliczne – w Polsce nie było po ostatniej wojnie katastrofy mostu w trakcie normalnej eksploatacji.

Warto zwrócić uwagę, że podobna sytuacja co do źródeł występowała do niedawna i w światowym piśmiennictwie technicznym. Dopiero lata całkiem ostatnie przyniosły istotną zmianę, bo ukazały się dwie pozycje monograficzne, wydane w 2008 r. [12] i w 2000 r. [13], obie poświęcone w całości katastrofom konstrukcji mostowych. Zawierają one nie tylko opisy wielu, tragicznych często w skutkach zdarzeń, lecz także



Ryc. 4. Widok mostu przez rzekę Allier w Veudre, Francja [7]



Ryc. 5. Most Koror przed i po katastrofie [9]



Ryc. 6. Most Stonecutters w Hongkongu

własne analizy autorów oraz wskazania co do sposobów unikania błędów do katastrof prowadzących. W pozycji [12] przedstawiono 20 głośnych katastrof mostów w okresie od 1847 r. do 2003 r., natomiast w pozycji [13] podano informacje o ogółem aż 440 takich zdarzeniach, które nastąpiły w latach 1846–2008. W niektórych wcześniejszych podręcznikach (np. w [14] z 1997 r.) można znaleźć opisy katastrof wraz z wnioskami z nich płynącymi, ale nie zmienia to faktu, że nowoczesne ujęcia monograficzne o tej tematyce ukazały się na świecie dopiero niedawno.

Ze względu na szczególnie dużą liczbę katastrof przedstawionych w monografii [13], warto podać ich klasyfikację według głównych przyczyn, które je spowodowały. Uczyniono to w tablicy 1 (kolumna

z udziałem procentowym jest uzupełnieniem autora artykułu).

Dane zestawione powyżej nie pretendują rzecz jasna do uogólnienia mniej lub bardziej częstszych przyczyn katastrof mostów (uderza np. mała liczba katastrof spowodowanych oddziaływaniami sejsmicznymi), niemniej jednak aż 440 katastrof wymienionych w [13] rzuca pewne światło na temat częstotliwości występowania określonej przyczyny, a to jest niewątpliwie elementem rozwoju wiedzy budowlanej.

W kolejnym artykule, zgodnie z jego tytułem, przedstawimy tylko bardzo krótkie opisy niektórych wymienionych katastrof, natomiast skoncentrujemy się na tym, jak wpłynęły one na rozwój wiedzy budowlanej.

Tab. 1. Klasyfikacja przyczyn katastrof wymienionych w monografii [13]

| Główna przyczyna i okres nastąpienia katastrofy     | Liczba przypadków | Udział procentowy [%] |
|---|-------------------|-----------------------|
| Podczas budowy                                      | 105               | 23,9                  |
| Podczas normalnego użytkowania                      | 107               | 24,3                  |
| Uderzenia taboru pływającego                        | 59                | 13,4                  |
| Uderzenia od taboru pod obiektem                    | 19                | 4,3                   |
| Uderzenia od taboru na obiekcie                     | 21                | 4,8                   |
| Powódź, parcie lodu, pływające przedmioty, huragany | 41                | 9,3                   |
| Pożary lub wybuchy                                  | 22                | 5,0                   |
| Oddziaływania sejsmiczne                            | 6                 | 1,4                   |
| Katastrofy rusztowań                                | 60                | 13,6                  |
| Razem   | 440               | 100,0                 |

## Bibliografia

1. Radomski W.: *Materiał a konstrukcja – refleksje mostowca*. IV Konferencja Naukowo-Techniczna Zagadnienia Materiałowe w Inżynierii Lądowej MATBUD 2003. Kraków 2003.
2. Petroski H.: *To Engineer is Human. The Role of Failure in Successful Design*. Vintage Boks, 1992.
3. Timoshenko S.P.: *Historia wytrzymałości materiałów*. Wydawnictwo Arkady. Warszawa 1966.
4. Navier C.L.: *Raport à Monsieur Becquey et Mémoire sue les Ponts Suspendus*. Imprimerie Royale. Paris 1823.
5. Dischinger F.: *Häbebrücken für schwerste Verkehrslasten*. „Bauingenieur” 1949, Nr. 3, 4.
6. Ernst H.J.: *Der E-Modul von Seilen unter Berücksichtigung des Durchhangs*. „Bauingenieur” 1965, Nr. 50.
7. Wasiutyński Z.: *Budownictwo betonowe*. T. 14. *Mosty*, cz. 1. Wydawnictwo Arkady. Warszawa 1967.
8. Freyssinet E.: *Souvenirs „Cent Ans du Beton Armé”*. Tłum. J. Fijałkowski. STUP. Paris 1949.
9. *Koror-Brücke eingestürzt*. „Beton- und Stahlbetonbau” 1997, Nr. 3 (92).
10. Dmitriew F.D.: *Katastrofy budowlane. Szkice historyczno-techniczne*. Warszawa 1956.
11. Jarominiak A., Rosset A.: *Katastrofy i awarie mostów*. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności. Warszawa 1986.
12. Åkesson B.: *Understanding Bridge Collapses*. Taylor&Francis, 2008
13. Scheer J.: *Failed Bridges – Case Studies, Causes and Consequences*. Ernst&Sohn, 2010.
14. Barker R.M., Puckett J.A.: *Design of Highway Bridges*. John Wiley&Sons, Inc., 1997.
15. Dąbrowiecki K.: *Mosty Tacoma Narrows*. „Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne” 2010, nr 5 (32), s. 66–70.
16. Larsen A.: *Aerodynamics of the Tacoma-Narrows Bridge*. „Structural Engineering International” 2000, Vol. 10, No. 4, pp. 243–248.
17. Radomski W.: *Dynamiczne przyczyny awarii mostów*. XXIII Konferencja Naukowo-Techniczna Awarie Budowlane. Szczecin–Międzyzdroje 2007.

ARTYKUŁ OPRACOWANY NA PODSTAWIE REFERATU WYGŁOSZONEGO NA XXV KONFERENCJI NAUKOWO-TECHNICZNEJ AWARIE BUDOWLANE, MIĘDZYZDROJE, 24 MAJA 2011