

Katastrofy budowlane za granicą 2005–2007

Uczmy się na błędach

prof. dr inż. Stanisław Kajfasz

W ciągu ostatnich dwóch lat byliśmy świadkami poważnych niepowodzeń mających związek z działalnością budowlaną człowieka. Jest to nieunikniona cena za postęp i rozwój cywilizacji. Szczegółowe omówienie najważniejszych przypadków, o których donosi prasa codzienna i czasopiśmiennictwo techniczne, znacznie przekroczyłyby ramy jednego referatu. Dlatego też to opracowanie należy traktować jako przegląd najważniejszych katastrof z podkreśleniem wniosków, jakie można z nich wyciągnąć.

Po zaistniałej awarii powołuje się zespoły ekspertów analizujących materiał dowodowy. Panująca kultura poufności powoduje, że do środowiska zawodowego docierają bardzo skąpe informacje. Często też sprawa trafia przed sąd (nierychliwy!), który wydaje werdykt o winie i wymierza karę sprawcy. W ten długi proces jest „uwikłane” środowisko inżynierskie, zwłaszcza w pierwszych fazach rozwoju sprawy, czyli na etapie ustalania przyczyn awarii.

Zebrane materiały uporządkowano w następującym układzie: awarie wywołane ekstremalnymi siłami natury, awarie związane z podłożem obiektu budowlanego i w budownictwie ziemnym, awarie w trakcie budowy, awarie w trakcie eksploatacji obiektu, wnioski retrospektywne z katastrof, zabezpieczenia przed wandalizmem i atakiem terrorystycznym oraz niepowodzenia wywołane skutkami ekonomicznymi obiektu.

Awarie wywołane ekstremalnymi siłami natury

Zagrożenia wywołane oddziaływaniami klimatycznymi, trzęsieniami, powodzią i huraganami niszcząca infrastrukturę budowlaną zdarzały się zawsze i nadal będą się zdarzać. Ostatnie lata przyniosły dyskusje nad tym czy obserwowane zmiany klimatu są naturalne, czy spowodowane przez człowieka. Istnieje związek pomiędzy globalnym wzrostem temperatury i koncentracją dwutlenku węgla w atmosferze. Prognozy oparte na wynikach modelowania komputerowego nie są jednak powszechnie aprobowane. Obserwowany „efekt szklarniowy” skłonił angielski rząd do powołania komisji międzyresortowej zajmującej się zmianami klimatu (*Intergovernmental Panel on Climate Change*). Komisja przewiduje ocieplenie klimatu w granicach od 1,8 do 4 °C w ciągu najbliższych 100 lat wskutek globalnego uprzemysłowienia, przy czym uważa się, że ocieplenie o 6 °C będzie oznaczać koniec naszej cywilizacji.

Ekstremalne siły natury powodują ekstremalne straty. Firma reasekuracyjna Swiss Re oszacowała straty wywołane różnego rodzaju katastrofami w 2006 r. na 40 mld USD.

W 2005 r. szkody wyniosły 100 mld USD, głównie wskutek huraganów u wybrzeży USA.

Tsunami, które nawiedziło basen Oceanu Indyjskiego w grudniu 2004 r. spowodowało śmierć 300 tys. osób. We wszystkich katastrofach w 2006 r. zginęło ok. 30 tys. osób.

HURAGAN KATRINA (NOWY ORLEAN, 2005)

Miasto położone w bagnistej delcie rzeki Missisipi, na jej lewym brzegu, ok. 150 km od ujścia rzeki do Zatoki Meksykańskiej, zostało zalane wodą wskutek przerwania wałów ochronnych (ryc. 1). Konieczna okazała się ewakuacja wszystkich mieszkańców. Naprawa obwałowań odbywała się przy pomocy worków z piaskiem o objętości 1 m³, zrzuconych z helikopterów. Powstaje problem czy i jak odbudować zlokalizowane tak niekorzystnie miasto. Rozważana jest nawet odbudowa na palach w stylu Wenecji. Na położonym w pobliżu jeziorze Pontchartrain fale zrzuciły z podpór 1/3 prześleń 11-kilometrowej przeprawy mostowej.

Jednym z wniosków jakie wyciągnięto z tego kataklizmu jest konieczność podwyższenia wymogów projektowania na sztorm



500-letni. Dla porównania, holenderskie konstrukcje ochronne brzegów morskich projektowane są na sztorm 1000-letni.

STADION ZIMOWY W VANCOUVER (KANADA)

Silne wiatry wiejące z prędkością 115 km/h uszkodziły na początku 2007 r. pneumatyczne przekrycie stadionu olimpijskiego, na którym odbędą się zimowe mistrzostwa świata w 2010 r. Przekrycie eliptyczne o wymiarach 190 x 231 m, wykonane z teflonu zbrojonego włóknem szklanym i podwieszone na cięgnach stalowych, doznało uszkodzenia, wskutek którego obniżyło się ciśnienie wewnętrzne utrzymujące przekrycie na wysokości 27 m ponad poziomem żelbetowego, usztywniającego wieńca. Ocenia się, że dodatkową przyczyną awarii stały się wieżowce, zbudowane niedawno w pobliżu stadionu, wywołujące silną turbulencję wiejącego wiatru.

TRZĘSIENIA ZIEMI W ISLAMABADZIE (PAKISTAN, 2005) I NA JAWIE (INDONEZJA, MAJ 2006)

Nieprzebranie norm amerykańskich (Pakistan) lub brak norm projektowych (Indonezja) spowodowały zawalenie wielu budynków substandardowych. Zginęło 5 tys. osób.

GWAŁTOWNE OPADY ŚNIEGU W EUROPIE, POCZĄTEK 2006

Zbyt obfite opady śniegu stały się plagą nie tylko w Polsce. W Bad Reichenfall (Bawaria) uległo zawaleniu drewniane przekrycie hali lodowiska o wymiarach 75 x 48 m, zbudowane w latach 70. XX w. Smukłe dźwigary dwuteowe o rozpiętości 40 m, grubości średnika 65 mm i pasach o szerokości 200 mm były wykonane z klejonego drewna. Przyczyną awarii, poza krytycznym obciążeniem, była degradacja kleju formaldehydowego.

Opady śniegu w Austrii spowodowały zagrożenie katastrofą szkół w miejscowości Kopfring. Dach hali przemysłowej zawalił się też w Salzburgu w zachodniej Austrii.

NASYP KOLEJOWY W PUGLII (WŁOCHY, 2005)

Ulewne deszcze na południu Włoch spowodowały przerwanie nasypu kolejowego wskutek wymycia ziemi wokół przepustu na odcinku 20 m. Lokomotywa przejeżdżającego pociągu wykołała się na nasypie, jeszcze przed powstaniem wyrwy.

ZAWALENIE RUSZTOWANIA W WIELKIEJ BRYTANII (KWIECIEŃ 2006)

Silny wiatr spowodował zawalenie się rusztowania budowanego 11-piętrowego hotelu. Wiatr zerwał również część płyt okładzinowych z elewacji, będących w trakcie montażu.

Awarie w budownictwie ziemnym

BUDOWA SUPERMARKETU TESCO W GERARD CROSS (WIELKA BRYTANIA)

Obiekt usytuowano wykorzystując tzw. *air rights* nad istniejącą linią kolejową, na nasypie ziemnym. Nasyp wykonano nad zmontowanym sztucznym tunelem o długości 320 m, wykona-

nym z prefabrykatów żelbetonowych o schemacie łuku trójprzegubowego. Krytycznym czynnikiem prowadzącym do awarii okazał się sposób zasypywania przestrzeni nad tunelem kruszywem wapiennym. W czasie zasypywania powstawały różne schematy statyczne obciążeń łuku i siły poziome w przegubie zwornika, nie zawsze zrównoważone. Dodatkowym czynnikiem destabilizującym układ okazały się drgania wywołane sprzętem zagęszczającym nasyp. W rezultacie konstrukcja tunelu zawałiła się na odcinku 10 m. Przyczyną katastrofy było za małe obciążenie boków (pachwin) tunelu w stosunku do obciążenia w zworniku. Podczas usuwania skutków awarii wysunięto inną tezę, a mianowicie, że powodem zawalenia się były koncentracje naprężeń w przegubie łuku wywołane nierównym ułożeniem prefabrykatów.

DRĄŻENIE TUNELI METODĄ NATM (NEW AUSTRIAN TUNELLING METHOD)

Opracowana w 1973 r. metoda drążenia tuneli w słabych gruntach polega na otwartym (*open face*) froncie robót, zakładaniu kotew gruntowych i nanoszeniu warstwy torkretu. Jej zaletą jest niska cena. Od 2000 r. zarejestrowano 10 katastrof tuneli w czasie budowy: w USA, Austrii, Anglii, Turcji, Szwajcarii, Grecji, Tajwanie, Hiszpanii, Australii. Na początku 2007 r., przy budowie metra w São Paulo (Brazylia) zawałiła się studnia o średnicy 40 m i głębokości 30 m w miejscu budowanej stacji. Do katastrofy przyczyniły się padające deszcze, destabilizujące grunt.

Awaryjne w trakcie budowy

BUDOWA WIADUKTU NA AUTOSTRADZIE MALAGA - ALMERIA (HISZPANIA, 2005)

Przesuwane rusztowanie, obsługujące wykonywanie przęsła żelbetonowych o rozpiętości 100 m, runęło z wysokości 68 m wskutek utraty stateczności w czasie przemieszczania. Kratownica wsporcza formy do betonowania zaopatrzona jest z obu końców w „nosy”, utrzymujące ją w równowadze w czasie przesuwania. Natomiast forma spoczywała w czasie przesuwu kratownicy wsporczej na filarze. Zginęło sześć osób. Do upadku przyczyniła się okoliczność, że wykorzystano zwornik łuku do tymczasowego podparcia formy w czasie przesuwu kratownicy wsporczej. Było to rozwiązanie najprostsze, ale zarazem najbardziej ryzykowne.

BUDOWA RUCHOMEGO PRZYKRYCIA NARODOWEGO STADIONU WEMBLEY (LONDYN)

Skomplikowany system wsporczy (ryc. 2) ruchomego, nasuwanego przekrycia wywołał poważne komplikacje wskutek zmian projektowych, technicznych i organizacyjnych (elementy stalowe sprowadzane były z wytwórni amerykańskich). Przedłużający się czas budowy spowodował straty rzędu 100 mln funtów. Nieuwzględnienie efektów dynamicznych powstających podczas ruchu i zatrzymywania przekrycia wymusiło konieczność zmniejszenia prędkości ruchu do 0,1 m/s.



Awaryjne w trakcie eksploatacji obiektów

KOROZJA LIN W MOSTACH WISZĄCYCH

Po 41 latach eksploatacji mostu wiszącego przez zatokę Forth w Szkocji (ryc. 3) stwierdzono korozję kabli składających się z 11,6 tys. drutów oraz pęknięcia 31 drutów. Kable chronione są pastą z minią ołowiową, osłonką blaszaną i powłoką malarską.



Podważenia budzi popękana pasta przepuszczająca wodę gromadzącą się w najniższej strefie kabli. Wymianę lin wyklucza się ze względu na koszty. Przewidywany jest montaż urządzeń suszących wnętrza kabli i zainstalowanie czujników akustycznych rejestrujących pęknięcia. Koszt badania stanu lin i środków zabezpieczających wyniesie 2,2 mln funtów. Alternatywą jest definitywne zamknięcie mostu w 2019 r.

Działania Anglików spotkały się z wątpliwościami inżynierów z amerykańskiej firmy Modjeski and Partners. Twierdzą oni, że rdza na powierzchni drutów nie oznacza spadku wytrzymałości. Podkreślają także, że współczynnik bezpieczeństwa rzędu 4 kryje w sobie zapas na pęknięcie drutów. Podawana w wątpliwość jest skuteczność suszenia.

Na młodszym o dwa lata moście przez rzekę Sewern w Anglii i o mniejszym natężeniu ruchu wprowadzono ograniczenia przejazdu tirów tylko do jednego pasa w każdym kierunku.

MOST NAD AUTOSTRADĄ W MONTREALU (KANADA)

Wieloletnie działanie soli używanej do odładzania jezdni spowodowało degradację betonu i zbrojenia w spoinie dylatacyjnej. Doszło do upadku całego przęsła. Rozwiązanie pochodzące z lat 1970. zostało już zarzucone. Awaria unaoczniała, że przeglądy stanu mostów przeprowadzane w odstępach 10-, 15-letnich są niewystarczające, natomiast na częstsze brakuje środków.

KATASTROFA MOSTU WYWOŁANA TŁUMEM LUDZI (MEKKA, ARABIA SAUDYJSKA, STYCZEŃ 2006)

Obsługujący pieszych pielgrzymów most Jamarat uległ zawaleniu, gdy dwa łączące się na rampie strumienie pątników, liczące łącznie ok. 600 tys. osób, spowodowały zator. Napierający tłum spowodował, że część pielgrzymów spadła z rampy, część została zdeptana. Pod gruzami zginęły 363 osoby. Pielgrzymi byli obciążeni kamieniami do rytualnego kamieniowania.

ROZBIÓRKA SPALONEGO WIEŻOWCA WINDSOR W MADRYCIE

Wykonana po pożarze w lutym 2005 r. rozbiórka (ryc. 4) była poważnym przedsięwzięciem technicznym i organizacyjnym prowadzonym w środku miasta. Trwała pół roku, demontaż prowadzono przy użyciu 70-tonowych dźwigów, zachowując nadzwyczajne środki ostrożności, gdyż konstrukcja groziła niekontrolowanemu zawaleniem i uszkodzeniem tunelu metra przebiegającym pod placem rozbiórki. Naczelnym zadaniem było uniknięcie zmiany schematu konstrukcyjnego obiektu wywołanego postępowaniem rozbiórkowym. Uprzątnięcie jednego piętra trwało 1,5 tygodnia.

POŻARY W TUNELACH

Pożar w tunelu pod kanałem La Manche (wrzesień 2005) wykazał wysoką sprawność ratunkowego systemu wentylacyjnego, obniżającego temperaturę i zadymienie. Pożar w tunelu Fréjus (Francja, czerwiec 2005) spowodował silne zadymienie tunelu i śmierć dwóch kierowców. Obudowa tunelu nie uległa uszkodzeniu. Ulepszona po wcześniejszym pożarze w 2004 r. instalacja oddymiająca okazała się niewystarczająca.

Pożar tunelu pod Mont Blanc w 1999 r. doczekał się sądowego finału. Zapadły wyroki w stosunku do 10 osób i trzech przedsiębiorstw. Najwyższy wyrok wyniósł trzy lata pozbawienia wolności w zawieszaniu. Na burmistrza Chamonix nałożono karę 1500 euro.



Retrospektywa wcześniejszych katastrof

ZNISZCZENIE WORLD TRADE CENTER W NOWYM JORKU

W czerwcu 2005 ukazało się końcowe sprawozdanie opracowane przez National Institute for Standards and Technology (NIST) zawierające m.in. wyniki badań i symulacji komputerowych oraz zalecenia dotyczące zwiększania bezpieczeństwa budynków wysokich. Do najważniejszych wymagań zaliczono: zabezpieczenie przed katastrofą postępującą, rezygnację z konieczności obliczania wytrzymałości na uderzenie samolotem, niedopuszczenie do zawalenia konstrukcji w wyniku wybuchu niekontrolowanego pożaru, jednakową odporność na ogień wszystkich elementów konstrukcyjnych i ich połączeń. Według obecnie obowiązujących przepisów słupy muszą mieć dwukrotnie wyższą wytrzymałość na pożar (trzy godziny). Stwierdzono też konieczność zintensyfikowania prac badawczych.

W projekcie mającego powstać na miejscu katastrofy najwyższego wieżowca świata Freedom Tower wprowadzono szereg rozwiązań konstrukcyjnych i funkcjonalnych, które uczynią go najbezpieczniejszym budynkiem kiedykolwiek zaprojektowanym.

TERMINAL NA LOTNISKU CHARLESA DE GAULLE'A W PARYŻU

Zawalenie się fragmentu chodnika w 2004 r. wywołało dyskusję na temat weryfikacji projektów innowacyjnych. Stwierdzono, że weryfikacja musi być obowiązkowo wykonana poza autorskim biurem projektów, czyli przez stronę trzecią. Obowiązek taki został wprowadzony w Wielkiej Brytanii w latach 70. XX w. po serii awarii stalowych mostów skrzynkowych.

USUNIĘCIE SKUTKÓW AWARII ELEKTROWNI JĄDROWEJ W CZARNOBYLU

Dobiegł 20-letni okres życia sarkofagu pokrywającego miejsce katastrofy. Zaawansowane są prace projektowe stalowego hangaru o rozpiętości 270 m, długości 150 m i wysokości 92,5 m, który zostanie nasunięty nad pokrywą sarkofagu. Rozwiązanie składa się z 13 kratownic usytuowanych w odstępach co 12,5 m. Środki finansowe zgromadzone w banku EBOR pochodzą z dawrowizn grupy G-7 (najbogatszych państw świata).

KŁADKA DLA PIESZYCH IM. SIMONE DE BEAUVOIR W PARYŻU (2006)

Kłopoty z opanowaniem drgań kładki dla pieszych Milem w Londynie, zamkniętej dzień po otwarciu, skłoniły francuskich inżynierów do zaprojektowania w Paryżu kładki

o rozpiętości 270 m z kontrolowanymi drganiami. Ma to celowo stwarzać przyjemny efekt przechodzącym przez kładkę. Została ona wyposażona w siedem regulowanych tłumików (*tuned mass dampers*). Tłumiki zostaną wyregulowane podczas próbnego obciążenia dynamicznego kładki.

WANDALIZM, TERRORYZM

Przecięcie piłą mechaniczną kilku cięgien podwieszonych kładki dla pieszych nad autostradą w pobliżu Manchesteru spowodowało przejściową konieczność zamknięcia autostrady z początkiem 2007 r. Kładka została zamknięta do czasu wymiany uszkodzonych cięgien. Rozważa się założenie wokół zakotwień stalowych rękawów i monitoringu akustycznego, sygnalizującego atak w przyszłości. Ta metoda okazała się skuteczna podczas podobnego ataku w Nowym Jorku w 2000 r. Takie rękawy o długości 2–3 m i średnicy większej niż chroniony kabel dają również ochronę przed wybuchem ładunku przyczepionego do rękawa.

Wandalizm związany z mostami kołowymi i kolejowymi nie jest niczym wyjątkowym, notuje się kilkanaście tego typu prób rocznie.

Niepowodzenia wywołane skutkami ekonomicznymi

EUROTUNEL POD KANAŁEM LA MANCHE

Zadłużenie operatora tunelu, brytyjsko-francuskiego prywatnego konsorcjum Eurotunnel plc., osiągnęło poziom 6,3 mld euro. Trwają intensywne próby porozumienia z kredytodawcami, pertraktacje dotyczące zamiany części długu na nowe akcje. Banki oponują, gdyż spowoduje to dalszy spadek obecnych cen akcji (20 pensów) z początkowych 8 funtów.

PROJEKT MOSTU PRZEZ CIEŚNINĘ MESSYŃSKĄ (WŁOCHY)

Mający być światowym rekordem most o rozpiętości przeszła 3,3 km, długości 3,66 km, wysokości pylonów 382 m i średnicy kabli 1240 mm, poddano przetargowi. Przewidywano koszt 4,6 mld euro. Inwestor postawił warunek, że startujące w prekwalifikacjach firmy będą oceniane również według zadeklarowanej partycypacji finansowej w budowie mostu. Wymóg ten eliminował większość potencjalnych wykonawców. Do złożenia ofert zaproszono: niemiecką firmę Strabag, francuską Bouygues i hiszpańską Dragados. Rozpatrywana miała być cena (45 punktów w 100-punktowej skali), organizacja kontraktu (15 pkt), techniczne i estetyczne walory (15 pkt), organizacja eksploatacji mostu (10 pkt), szybkość budowy, liczba podleceń, możliwość otrzymania gwarancji (15 pkt). Przetarg dał wynik negatywny, odstąpiono od realizacji.

PROJEKT MOSTU PRZEZ ZATOKĘ OAKLAND W SAN FRANCISCO

Projekt mostu o rozpiętości przeszła 385 m i przeszła utwierdzającego (*backspan*) 180 m charakteryzują się tym, że posiada tylko jeden pylon o wysokości 160 m. Kabel jest nawijany w sposób ciągły, jak w metodzie nazwanej od nazwisk jej autorów metodą Baura – Leonhardta, tj. od jednego końca mostu do drugiego. Zakwestionowane zostało zabezpieczenie antysejsmiczne pylonu, sposób plecienia kabla o średnicy 780 mm i łączenia pojedynczych splotów. Przewidziany koszt 1,2 mld USD wzrósł w przetargu do 2 mld USD i nie został zaakceptowany przez inwestora.

Uwagi końcowe

1. Istnieje związek pomiędzy gotowością do podejmowania ryzyka przez budowniczego a „awaryjnością” budownictwa. Globalna konkurencja i współzawodnictwo w dostępie do dużych przedsięwzięć powodują, że firmy azjatyckie (chińskie czy indyjskie), są skłonne podejmować większe ryzyko wykonawcze niż firmy europejskie. Zmniejsza to szanse w przetargach tych ostatnich.

2. Poufność w dostępie do wyników awarii budowlanych jest zjawiskiem ogólnoswiatowym. W zależności od charakteru niepowodzenia, a zwłaszcza gdy w grę wchodzi błąd ludzki, wykonawcy, politycy, ubezpieczyciele, policja, niechętnie się dzielą posiadanymi informacjami. Ogranicza to możliwość uczenia się na błędach.

W opracowaniu wykorzystano materiały z brytyjskiego tygodnika „New Civil Engineer”.