

Utrzymanie i diagnostyka mostów

w aspekcie działalności rzeczoznawcy budowlanego



tekst: **prof. dr hab. inż. WOJCIECH RADOMSKI**, emerytowany profesor zwyczajny Politechnik Warszawskiej i Łódzkiej

Stan techniczny i funkcjonalny obiektów mostowych w bardzo dużym, często decydującym stopniu zależy od poziomu ich utrzymania. W artykule przedstawiono oryginalną klasyfikację czynników wpływających na degradację mostów, odróżniając czynniki obiektywne i subiektywne. Utrzymanie należy wyłącznie do tych drugich.

Podkreślono również szczególne znaczenie jakości oraz utrzymania elementów wyposażenia mostów. Przedstawiono zadania ekspertów (rzeczoznawców) oceniających stan techniczny i funkcjonalny obiektów. Na przykładzie oceny stanu kabli sprężających zaprezentowano przydatność poszczególnych metod badawczych służących diagnostyce mostów. Wskazano, że oprócz dogłębnej wiedzy technicznej od rzeczoznawców wymagane są współcześnie tzw. miękkie umiejętności, polegające na przewidywaniu społecznych i ekonomicznych skutków podejmowanych decyzji technicznych.

Czynniki degradujące obiekty mostowe

Obiekty mostowe odróżnia od innych budowli to, że poza przenoszeniem różnego rodzaju obciążeń statycznych i dynamicznych o znacznych zwykle wartościach, podlegają w sposób bezpośredni oddziaływaniom czynników klimatycznych i środowiskowych, które mogą ujemnie wpływać (i na ogół wpływają) na trwałość obiektów. Klasyfikację wszystkich czynników powodujących degradację mostów przedstawiono syntetycznie w tabeli 1. Jest to oryginalna klasyfikacja autora. Warto zwrócić uwagę na podział wspomnianych czynników na obiektywne i subiektywne. Pierwsze nie zależą od działalności człowieka w sferze mostownictwa, drugie – i jest ich zdecydowanie więcej – zależą od działalności człowieka, i to także w sferze pozamostowej. Taka klasyfikacja wskazuje na podstawową rolę sposobu użytkowania i poziomu utrzymania konstrukcji mostowych; od ich projektantów, wykonawców i ogólnie rozumianych eksploataatorów zależy trwałość i bezpieczeństwo użytkowania mostów, które określane są – o czym będzie w dalszym tekście – przez odpowiednio przygotowanych rzeczoznawców.

Warto zauważyć, że czynniki oznaczone od C.I.1. do C.I.5. mogą w niektórych sytuacjach przybierać katastrofalne rozmiary, np. w postaci powodzi, huraganów lub trzęsień ziemi.

Można sformułować stwierdzenie, że czynniki subiektywne mają decydujący wpływ na stan techniczny i funkcjonalny obiektu mostowego, i to już na etapie jego projektowania. Wiadomo np., że obiekty stanowiące zbiór przęseł swobodnie podpartych są bardziej narażone na destrukcję od konstrukcji ciągłych (A.II.2.).

Generalnie, konstrukcje o ciągłej linii ugięcia są bardziej odporne na destrukcję od konstrukcji o nieciągłej linii ugięcia.

Warto o tym pamiętać w sytuacji, gdy w latach 1970–1990 aż ok. 90% realizacji było konstrukcjami prefabrykowanymi, z których tylko niektóre uciążlano – nie wszystkie systemy prefabrykacji na to pozwalały. Do tego dochodziła jeszcze zbyt mała sztywność poprzeczna przęseł. Skutki tych błędnych rozwiązań konstrukcyjnych są widoczne do dziś, bo trwałość techniczna owych obiektów okazała się krótsza od wymaganej. Inne przykłady to czynniki oznaczone A.II.5. oraz D.II.1. – zbyt niska jakość materiałów konstrukcyjnych (np. betonów) i elementów wyposażenia – to najpoważniejsze przyczyny powodujące zagrożenie wymaganego, dobrego stanu technicznego obiektów mostowych.

W ostatnich latach poziom mostownictwa w Polsce znacznie się podniósł zarówno pod względem projektowym, jak i technologii wykonawczych; czołowe osiągnięcia krajowe odpowiadają obecnie standardom światowym. Utrzymanie obiektów, wyłączając duże, reprezentacyjne mosty, pozostaje jednak najłabszym ogniwem. Stosunkowo lepiej jest z utrzymaniem infrastruktury mostowej na sieci dróg administrowanych przez Generalną Dyрекcję Dróg Krajowych i Autostrad (GDDKiA), natomiast znacznie gorzej wygląda pod tym względem sytuacja na drogach lokalnych, głównie z powodu szczupłości środków finansowych i braków kadrowych, a tam przecież obiektów mostowych jest najwięcej. Truizmem, ale zawsze wartym przypomnienia, jest, że nawet właściwie zaprojektowany i dobrze wykonany obiekt, z użyciem wysokiej jakości materiałów i elementów wyposażenia, w przypadku zaniechania lub niedbałego wykonywania robót utrzymaniowych ulega degradacji.

Innym, ale obiektywnym czynnikiem degradacji mostów jest po prostu upływ czasu (A.I.1.). Mimo znacznego wysiłku podjętego w ostatnich latach w mostownictwie drogowym (na ogólną liczbę ok. 30 tys. obiektów niemal 38% z nich jest eksploatowana przez mniej niż 20 lat), w dalszym ciągu niemal 30% obiektów ma ponad 50 lat. Znacznie gorsza jest sytuacja w mostownictwie kolejowym, w którym na ogólną liczbę ok. 8 tys. obiektów tylko niespełna 4% z nich ma mniej niż 20 lat, za to blisko 45% ma lat ponad 100! Infrastruktura mostowa w Polsce jest zatem w dalszym ciągu po prostu stara i wiele obiektów wymaga nie tylko remontów, ale przede wszystkim wzmocnień strukturalnych, a także – co coraz częstsze – mo-

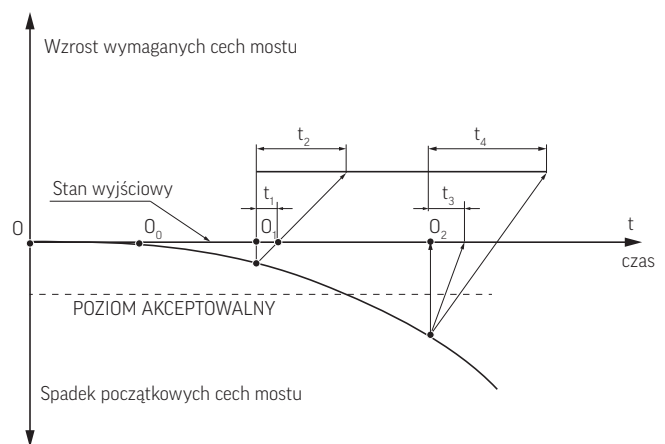
Tab. 1. Czynniki powodujące degradację obiektów mostowych

A. Czynniki wynikające z cech konstrukcji	B. Czynniki wynikające z obciążeń ruchem	C. Czynniki klimatyczne i środowiskowe	D. Czynniki wynikające z poziomu utrzymania
A.I. Obiektywne A.I.1. Wiek obiektu A.II. Subiektywne A.II.1. Jakość analiz poprzedzających projektowanie i jakość zaprojektowania A.II.2. System konstrukcyjny – mniej lub bardziej podatny na destrukcję A.II.3. Dostosowanie obiektu do wymagań użytkowych – nośność i parametrów geometrycznych A.II.4. Jakość wykonania na każdym etapie robót A.II.5. Jakość materiałów konstrukcyjnych i elementów wyposażenia	B.II. Subiektywne (wyłączenie) B.II.1. Natężenie, prędkość i struktura ruchu B.II.2. Efekty dynamiczne, także zmęczeniowe B.II.3. Wypadki zaistniałe na obiekcie B.II.4. Przeciążenie pojazdami ponadnormatywnymi B.II.5. Uderzenia w spód konstrukcji lub jej podpory	C.I. Obiektywne C.I.1. Opady atmosferyczne i ich intensywność C.I.2. Zmiany poziomu wód w rzekach lub innych przeszkodach wodnych C.I.3. Efekty ruszania i parcia lodów C.I.4. Efekty wiatrowe C.I.5. Ruchy podłoża, także sejsmiczne C.I.6. Dienne i sezonowe zmiany temperatury otoczenia C.I.7. Bezpośrednie promieniowanie słoneczne C.I.8. Działanie soli pochodzących z wód morskich II. Subiektywne C.II.1. Efekty niskich temperatur – niedostateczna mrozoodporność betonu, nadmierna kruchość stali C.II.2. Opady atmosferyczne z agresywnymi substancjami (np. kwaśne deszcze) C.II.3. Penetracja agresywnych substancji z atmosfery (np. CO ₂) C.II.4. Agresywne substancje w wodach powierzchniowych i gruntowych C.II.5. Prądy błędzące	D.II. Subiektywne (wyłączenie) D.II.1. Zastosowane rozwiązania konstrukcyjne i materiałowe oraz rodzaj i jakość elementów wyposażenia – utrudniające lub ułatwiające prace utrzymaniowe D.II.2. Działanie środków odladzających na obiektach i na drogach pod nimi D.II.3. Jakość dokonywania przeglądów D.II.4. Częstotliwość i jakość rutynowych prac utrzymaniowych D.II.5. Jakość i skuteczność działania systemu odwodnienia obiektu i jego bezpośredniego otoczenia (np. nasypów) D.II.6. Jakość utrzymania łożysk i urządzeń dylatacyjnych D.II.7. Jakość utrzymania nawierzchni drogowych lub torowych D.II.8. Rodzaj i stan techniczny tzw. urządzeń obcych i różnego rodzaju instalacji

dernizacji strukturalnej (tj. wzmocnienia zapewniającego nośność większą od projektowanej) i modernizacji funkcjonalnej przez poprawę parametrów geometrycznych (np. poszerzenia pomostów). Z przedstawionej sytuacji wynika, że – najprościej rzecz ujmując – pracy dla rzeczoznawców mostowych ani nie brakuje obecnie, ani nie zabraknie w dającej się przewidzieć przyszłości. Muszą oni jednak, o czym dalej, poszerzyć swoje kompetencje o tzw. kompetencje miękkie, czyli wykraczające poza wąsko rozumianą wiedzę techniczną.

Przed rzeczoznawcami stoją zatem określone zadania. Muszą oni dokonać diagnozy stanu konstrukcji pod względem technicznym i funkcjonalnym, ocenić, czy np. odpowiednie zabiegi utrzymaniowe wystarczą do poprawy tego stanu, czy też nieodwołalny jest remont lub wzmocnienie konstrukcji, bądź – w skrajnym przypadku – czy stan techniczny obiektu jest na tyle zły, że zagraża jego bezpiecznej eksploatacji i ruch po nim powinien być wstrzymany. Konsekwencją tego ostatniego przypadku jest analiza pozwalająca na zdecydowanie o tym, czy obiekt powinien być odpowiednio wyremontowany i wzmocniony, czy też należy go rozebrać i wybudować w jego miejsce nowy. Wszystkie działania i decyzje rzeczoznawcy mają oprócz technicznego także znaczenie ekonomiczne i społeczne. Na ten aspekt działalności zwróconą jeszcze będzie uwaga w dalszym tekście. Tu w możliwie najprostszy sposób wyjaśnimy tylko rolę czasu jako czynnika ekonomicznego, który powinien być uwzględniany w działaniach rzeczoznawcy mostowego i w podejmowanych przez niego decyzjach. Posłużymy się w tym celu wykresem na rycinie 1.

Wyobraźmy sobie, że po pewnym czasie eksploatacji (odcinek $O-O_0$ na rycinie 1) należycie nawet zaprojektowanego i wykonanego obiektu mostowego, wskutek działania jednego lub całego zespołu (co bardziej realne) czynników wymienionych w tabeli 1, obiekt ten traci swoje początkowe cechy, np. nośność lub sztywność. Strata tych cech może być stosunkowo niewielka i nie przekraczać pewnego poziomu uznanego przez



$$t_2 > t_1; t_4 > t_3; t_3 > t_1; t_4 > t_2$$

Ryc. 1. Schemat obrazujący zmiany początkowych cech obiektu mostowego

rzeczoznawcę za akceptowalny (pozioma linia przerywana na rycinie 1) lub może poziom ten przekraczać. Oczywiście, jeśli do robót naprawczych, przywracających początkowe cechy obiektu, przystąpi się w pierwszej sytuacji, tj. po czasie określonym odcinkiem O_0-O_1 , to czas robót t_1 będzie stosunkowo krótki. Natomiast jeśli poziom akceptowalny zostanie przekroczony (np. po czasie określonym odcinkiem O_0-O_2), to zakres prac będzie odpowiednio większy i w związku z tym czas wykonywania robót t_3 może być dłuższy ($t_3 > t_1$). Ponadto w wielu realnych przypadkach wymagane jest podwyższenie cech obiektu mostowego w stosunku do poziomu przewidzianego w projekcie (linia pozioma nad osią czasu). Wtedy w zależności tego, czy wymieniony poziom akceptowalny nie jest lub jest osiągnięty, czas wykonywania prac, obejmujący także konieczne wzmocnienie konstrukcji, wynosi odpowiednio t_2 lub t_4 (przy czym $t_4 > t_2$ oraz $t_4 > t_3$).

Ten prosty przykład obrazuje wspomnianą poprzednio rolę czasu. Jeśli np. czas t_4 ze względu na zły stan techniczny obiektu byłby szczególnie długi, to ze względu na koszty społeczne bardziej ekonomicznie uzasadniona jest rozbiórka istniejącego obiektu i wybudowanie w jego miejsce nowego. Analiza czasu wykonywania prac może też skłaniać do wyboru technologii bezpośrednio droższych, ale szybszych bądź zapewniających większą trwałość obiektu. Oprócz tego przedstawiony przykład wskazuje, że ze względów na czas i zakres robót lepiej jest oczywiście przystąpić do prac remontowych lub modernizacyjnych, zanim stan obiektu przekroczy stan akceptowalny. Praktyka świadczy o tym, że często nie jest to przestrzegane, a wynikają z tego określone straty ekonomiczne i społeczne.

Diagnostyka mostów w praktyce działalności rzeczoznawcy

Trzeba tu od razu zastrzec, że pod pojęciem rzeczoznawcy budowlanego nie będziemy tu jedynie rozumieć osoby, która uzyskała formalne uprawnienia, by takim tytułem się legitymować, spełniając odpowiednie przepisy Prawa budowlanego i regulaminy organizacji tytuł taki nadającej (np. rzeczoznawca budowlany PZITB). Aczkolwiek od spraw formalnych nie będziemy tu całkowicie abstrahować, to jednak ograniczenie do ściśle, lecz dość wąsko rozumianego tytułu rzeczoznawcy zawężyłoby przedstawiane dalej rozważania do jednej tylko kategorii specjalistów dokonujących diagnostyki stanu obiektów mostowych i poziomu ich utrzymania.

Za rzeczoznawcę – w tym przypadku – mostowego będziemy zatem uważać osoby dysponujące wymaganymi na danym szczeblu ich działania zawodowego uprawnieniami, aby dokonywać oceny stanu technicznego i funkcjonalnego obiektów mostowych i proponować – gdy zachodzi taka potrzeba – środki poprawy tego stanu. Tak rozumiane pojęcie rzeczoznawcy obejmuje szeroki krąg specjalistów o różnym zakresie kompetencji – od służb utrzymaniowych i służb dokonujących przeglądów obiektów aż po jednostki badawcze zajmujące się mostownictwem.

Niniejsze opracowanie obejmuje tylko zagadnienia dotyczące mostownictwa drogowego. Od strony formalnej przeglądy obiektów prowadzące do diagnozy ich stanu technicznego regulują dwa podstawowe dokumenty [1, 2]. Dotyczą one służb działających w ramach GDDKiA. W dokumencie [1] wymienione i zdefiniowane są następujące rodzaje przeglądów: przeglądy bieżące, okresowe kontrole roczne – przeglądy podstawowe, okresowe kontrole pięcioletnie – przeglądy rozszerzone, przeglądy szczegółowe oraz ekspertyzy. Określono również zakres wszystkich rodzajów przeglądów, wymagane kwalifikacje i uprawnienia ich wykonawców oraz wykonawców ekspertyz. Nie ma oczywiście miejsca ani potrzeby, aby informacje te tutaj przytaczać. Warto natomiast zauważyć, że z szeroko rozumianą diagnostyką obiektów mostowych mamy do czynienia już na najniższym szczeblu kontroli ich stanu. Jeżeli bowiem przegląd bieżący, przeprowadzany podczas patrolowego objazdu sieci drogowej i polegający na wizualnej tylko kontroli, czy nie ma na obiekcie uszkodzeń zagrażających bezpieczeństwu ruchu drogowego [1], to przecież jest pierwszy stopień diagnostyki tego obiektu. W powszechnym jednak odczuciu, gdy używamy terminu diagnostyka mostów, to mamy zwykle na myśli ocenę stanu technicznego obiektu

dokonywaną z użyciem mniej lub bardziej złożonych metod badawczych i pomiarowych. Tak rozumiana diagnostyka jest w dokumencie [1] odniesiona tylko – w stosunkowo niewielkim zakresie – do przeglądów szczegółowych oraz w pełnym zakresie – do ekspertyz. Warto jednak zauważyć, że nie wolno pomniejszać znaczenia przeglądów bieżących, podstawowych i rozszerzonych, ponieważ w zależności od wyników każdego z nich może być podjęta decyzja o potrzebie przeprowadzenia przeglądu szczegółowego poza formalnym harmonogramem bądź nawet wykonania ekspertyzy. Decyzje takie zależą od indywidualnych przypadków. Nie ma tu oczywiście miejsca ani potrzeby przedstawiać bliżej dokumentów [1, 2]. Wystarczy podkreślić, że mimo pewnej subiektywności w stosowaniu skali ocen (od 0 – stan awaryjny, do 5 – stan odpowiedni), nie zanotowano w Polsce na sieci dróg administrowanych przez GDDKiA katastrofy mostu podczas jego eksploatacji. Warto też przypomnieć, że średni stan techniczny obiektów mostowych zlokalizowanych na tej sieci jest oceniany między 3 (stan niepokojący) i 4 (stan zadowalający). Nieco gorzej jest z obiektami położonymi na sieci dróg lokalnych.

Jest rzeczą znaną, że instrukcja [1] oraz zasady dokonywania ocen stanu technicznego drogowych obiektów inżynierskich [2] nie dotyczą ekspertyz. W dokumencie [1] podano jedynie, co należy rozumieć pod pojęciem ekspertyzy, a mianowicie: „Ekspertyza jest to opracowanie obejmujące ocenę stanu technicznego całego obiektu lub jego części, wydane na podstawie specjalistycznych badań, pomiarów i obliczeń, w celu ustalenia przydatności do użytkowania i niezbędnych zasad utrzymania obiektu. Ekspertyzy wykonują instytucje i (lub) zespoły specjalistów kompetentne w zakresie przedmiotu ekspertyzy, dysponujące niezbędną do tego aparaturą. Nie opracowuje się instrukcji wykonywania ekspertyz”.

Nie wdając się w kompletność takiego określenia ekspertyzy i pomijając specyfikę jej języka, warto wskazać, że na szczęście nie ma obowiązku jej wykonywania według jakiegokolwiek instrukcji. Ekspertyza jednak jako najwyższy szczebel określania stanu technicznego i funkcjonalnego obiektu mostowego powinna być wykonywana przez specjalistów o najwyższych kompetencjach, inaczej rzecz ujmując – przez rzeczoznawców najwyższej klasy. Jest tak dlatego, że ekspertyzy wykonywane są z reguły w dwóch podstawowych przypadkach:

a) gdy wyniki któregośkolwiek przeglądu (tj. od bieżącego do szczegółowego) budzą uzasadnione wątpliwości co do bezpiecznej eksploatacji obiektu i jego wymaganej trwałości, czyli gdy stwierdzone są pewne objawy zagrożenia w obu tych obszarach;

b) gdy obiekt przeznaczony jest do modernizacji strukturalnej (np. wymaga wzmocnienia ze względu na zwiększony poziom obciążeń użytkowych) lub funkcjonalnej (np. obiekt, zwłaszcza jego pomost, wymaga poszerzenia lub należy zwiększyć wysokość skrajni pod obiektem).

W obu wymienionych przypadkach podejmowane są decyzje o największych konsekwencjach technicznych, ekonomicznych i społecznych, co związane jest z ponoszeniem przez ekspertów (rzeczoznawców) wielkiej odpowiedzialności. W obu też stosowane być mogą te same metody diagnostyczne, o czym nieco dalej.

Między przypadkami a) i b) występują jednak pewne merytoryczne różnice. W przypadku a) działania diagnostyczne ukierunkowane są przede wszystkim na zagadnienia materiałowe

i strukturalne – badana jest jakość materiałów konstrukcyjnych, rodzaje i rozległość uszkodzeń elementów konstrukcyjnych i określane są przyczyny ich powstania (przeciążenia, korozja itp.), stan struktury wewnętrznej elementów konstrukcji (spękania, niejednorodności materiałowe itp.) oraz stan łożysk (np. czy nie uległy zablokowaniu), a także stan elementów wyposażenia obiektu (przede wszystkim urządzeń dylatacyjnych, systemu odwodnienia, izolacji i nawierzchni jako elementów z reguły najbardziej wpływających na trwałość budowli mostowych). Ponadto wykonywane są zazwyczaj obliczenia zmierzające do określenia stopnia zmniejszenia nośności i sztywności konstrukcji wskutek stwierdzonych jej uszkodzeń. Naczelnym celem ekspertyzy jest sformułowanie wniosków co do warunków dalszej eksploatacji obiektu przy zachowaniu wymaganego bezpieczeństwa jego użytkowania. Wskazywane są niezbędne działania techniczne (np. naprawa, remont, wymiana poszczególnych elementów konstrukcji i jej wyposażenia) zapewniające dalsze użytkowania obiektu na wymaganym poziomie bezpieczeństwa oraz formułowane są zasady utrzymania obiektu. Wyniki ekspertyzy mogą prowadzić także do ograniczeń w ruchu (np. zmniejszenie dozwolonej prędkości i masy pojazdów oraz ich nacisków osiowych) lub – w skrajnych sytuacjach – nawet do wyłączenia obiektu z użytkowania.

W przypadku b) możemy mieć do czynienia z obiektem w stanie technicznym niebudzącym obaw co do zagrożeń w jego bezpiecznym użytkowaniu i wymaganej trwałości (czyli nie tak, jak w przypadku a) przy zachowaniu projektowanych warunków eksploatacji, przede wszystkim zachowaniu poziomu obciążeń obowiązujących w okresie projektowania), ale niespełniającym współczesnych warunków funkcjonalnych dotyczących parametrów geometrycznych i (lub) mogącym wymagać wzmocnienia wobec wzrostu wymagań co do nośności konstrukcji (np. wymagane jest podniesienie klasy nośności w porównaniu do projektowanej). Taka sytuacja występuje zwykle w odniesieniu do tzw. starych obiektów, będących w eksploatacji od wielu lat i niewykazujących znaczących oznak degradacji. W takim przypadku ekspertyza wykonywana jest w celu sprawdzenia, czy planowana modernizacja obiektu wymaga jego napraw lub wzmocnienia. Trzeba pamiętać, że poszerzenie pomostu zawsze związane jest z podniesieniem poziomu obciążenia w porównaniu z poprzednią sytuacją. W zależności od indywidualnych przypadków poszerzenie może dotyczyć samego tylko pomostu lub także podpór, a niekiedy i fundamentów. Jeżeli wzmocnienie istniejącej konstrukcji okaże się potrzebne, to dotyczyć ono może także wszystkich trzech wymienionych elementów, choć najczęstszym przypadkiem jest wzmocnienie samego tylko pomostu. Dobrym tego przykładem jest niedawna modernizacja mostu gen. Stefana Grota-Roweckiego przez Wisłę w Warszawie. Zagadnienia dotyczące poszerzenia mostów są przedmiotem jednej z poprzednich prac [3].

Czasami zdarzają się sytuacje, że zamierzona modernizacja strukturalna i funkcjonalna może dotyczyć obiektów w stanie technicznym budzącym zastrzeżenia lub nawet obawy. Wtedy mamy łączne występowanie przypadku a) i przypadku b). Cele ekspertyzy mogą więc odpowiadać syntezie przedstawionych już wyżej celów obu tych przypadków.

W kontekście diagnozowania stanu konstrukcji odpowiadającemu przypadkom a) i b) zwrócić należy uwagę na dwie bardzo istotne sprawy. Pierwsza z nich to rola obliczeń. Trzeba

pamiętać, że ekspertyzy dotyczą na ogół obiektów projektowanych na podstawie obliczeń z ery przedkomputerowej. Dlatego modele obliczeniowe były mniej lub bardziej uproszczone w porównaniu do stosowanych obecnie. Jeżeli zatem stan techniczny konstrukcji nie budzi zasadniczych zastrzeżeń lub obaw, to zapasy jej nośności tkwić mogą w projektowaniu jej z zastosowaniem owych uproszczonych modeli, np. ramy płaskiej (modelu 2D), a nie przestrzennej (modelu 3D). Praktyka zna wiele przypadków tzw. ukrytych rezerw ich nośności, wynikających z przyjęcia do współcześnie wykonywanych obliczeń modeli bardziej złożonych, bliższych rzeczywistości. Takie możliwości stwarzają właśnie komputerowe systemy obliczeniowe. Wynika stąd ważny wniosek, że ogólnie rozumiany rzeczoznawca mostowy powinien obecnie być także biegły w diagnostyce obliczeniowej.

Druga sprawa, która jest znamioną cechą diagnozowania obiektów mostowych, to badanie ich pod próbnym obciążeniem. Jest to metoda stosowana niemal od zarania mostownictwa i nadal zachowująca swe duże znaczenie. Niemniej nie na wszystkie pytania dotyczące rzeczywistej nośności obiektów badania takie odpowiadają. Zagadnienia te były w latach ostatnich przedmiotem co najmniej kilkunastu publikacji krajowych, by tylko tytułem przykładu przywołać prace [4, 5]. Trzeba zdawać sobie sprawę, że badania pod próbnym obciążeniem statycznym dają możliwość określenia tzw. globalnej odpowiedzi konstrukcji na obciążenie, która jest wyznaczana najczęściej przez pomiar jej pionowych przemieszczeń w wybranych miejscach. Badania takie mogą więc dobrze służyć np. weryfikacji modelu obliczeniowego przyjętego do projektowania. O rzeczywistej nośności konstrukcji mostu decydują jednak z reguły jej najszabsze ogniwa, które są ogniwami lokalnymi. Dlatego do ich wykrycia stosować trzeba inne metody diagnostyczne.

W badaniach pod obciążeniem próbnym znów bardzo ważnym czynnikiem są obliczenia – wartości pomierzonych wielkości (przemieszczeń, odkształceń) zawsze trzeba porównać z wartościami obliczonymi (przemieszczeń, naprężeń). Problemem jest także przyjęty przez ekspertów model obliczeniowy (lub nawet system komputerowy) w porównaniu z modelem (czy systemem komputerowym) zastosowanym przez projektantów. Konsekwencje obliczeniowe wynikające z różnych modeli mogą być niekiedy bardzo istotne, co potwierdza praktyka. W odniesieniu do obiektów od dawna eksploatowanych oddzielne zagadnienie stanowi też stosowność współczesnych norm do oceny ich nośności. Jest to sprawa dość znana i niejednokrotnie nastręczająca trudności, zwłaszcza pod względem formalnym, co dla administracji drogowo-mostowej ma podstawowe znaczenie.

Reasumując, rola ekspertyz stanu technicznego i funkcjonalnego obiektów mostowych sprowadza się do odpowiedzi na podstawowe cztery ogólne grupy pytań:

I. Jaka jest rzeczywista nośność konstrukcji i poszczególnych jej elementów pod względem całkowitej masy pojazdów i ich nacisków osiowych?

II. Jak długo można obiekt bezpiecznie eksploatować przy niezmiennych warunkach ruchu (np. bez wprowadzania ograniczeń dotyczących masy i prędkości pojazdów oraz ich nacisków osiowych), nie podejmując lub podejmując (jakie i w jakim zakresie) działania techniczne (np. naprawy, remonty, wzmocnienie)?

III. Jak długo można obiekt bezpiecznie eksploatować, wprowadzając określone ograniczenia ruchu pojazdów i jednocześnie nie podejmując żadnych zabiegów technicznych?

IV. Czy i jakie działania techniczne są potrzebne, aby obiekt można było bezpiecznie eksploatować w wymaganym okresie przy podniesieniu wymagań dotyczących ruchu (np. gdy wymagana jest zwiększona nośność obiektu).

Syntetycznie ujęte odpowiedzi na te grupy pytań znaleźć można w stosunkowo niedawnej publikacji [5]. Nie ma tu miejsca na powtarzanie tych odpowiedzi. Natomiast pytania zaliczone do grup II, III i IV są związane również z prognozowaniem trwałości obiektów mostowych. Wiadomości na ten temat są przedmiotem wielu już krajowych publikacji, np. [6, 7]. Dlatego metodykę tę powinni rzeczoznawcy znać, choć trzeba przyznać, że jak dotychczas nie jest ona przez nich powszechnie stosowana.

Ponadto pytania wymienionych grup powiązane są wspólnym naczelnym problemem – czy bardziej opłacalne są zabiegi remontowe i modernizacyjne (strukturalne i / lub funkcjonalne), czy wyburzenie istniejącego obiektu (z zachowaniem lub nie pewnych jego elementów, np. podpór) i wybudowanie w jego miejsce nowego, spełniającego wszystkie bieżące lub przewidywane wymagania techniczne i funkcjonalne. Metodyka postępowania z uwzględnieniem czynnika czasu jako kategorii ekonomicznej oraz kosztów społecznych jest przedmiotem poprzednich prac autora [8, 9].

Metody badawcze w diagnostyce mostów

Współczesny ekspert (rzeczoznawca) mostowy dysponuje bardzo zaawansowanymi metodami badawczymi służącymi do diagnozowania stanu technicznego obiektów. Nie ma tu oczywiście miejsca na ich krótki choćby opis. W praktyce działania niezbędna jest jednak wiedza nie tylko o rodzajach metod, ale także ich przydatności do badań określonych elementów konstrukcji. Przykład takiej orientacyjnej oceny przydatności różnych metod do badania stanu kabli sprężających w mostach betonowych przedstawiono w tabeli 2 [10]. Mimo że została opracowana już wiele lat temu, to w znacznej mierze zachowuje swą aktualność. Warto zgłosić postulat podobnych syntetycznych ujęć w odniesieniu do innych elementów obiektów mostowych. Byłyby przydatne w pracy rzeczoznawców. Warto też zauważyć, że te metody, których przydatność do badania stanu kabli sprężających jest ograniczona, może być bardzo przydatna do innego rodzaju badań, np. struktury betonu. Dotyczy to choćby emisji akustycznej.

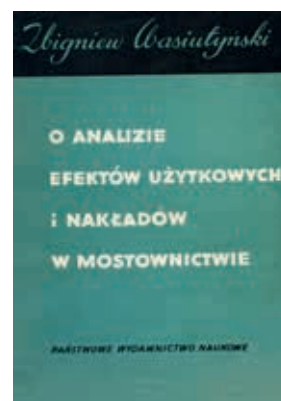
Na podkreślenie zasługuje, że w ostatnich latach znacznie rozwinięto metody badań obiektów mostowych w skali naturalnej (tzw. badań polowych). Przegląd najnowszych osiągnięć w tej dziedzinie znaleźć można w publikacji [11].

Kryteria podejmowania decyzji – kilka uwag

Wspomniano już, że przed rzeczoznawcami (ekspertami) stoją obecnie znacznie większe i szersze wymagania niż to było dawniej. Oprócz wiedzy technicznej i badawczej powinni oni umieć podejmować decyzje z użyciem tzw. metod miękkich. W najogólniejszym sensie oznacza to, że muszą oni przewidywać społeczne i ekonomiczne skutki decyzji technicznych. W nieco bardziej szczegółowym ujęciu powinni umieć sporządzać matryce rankingowe lub stosować analizy całego cyklu

użytkowania obiektu (ang. *life cycle cost analysis* – LCCA). Przykład metodyki postępowania w tym zakresie przedstawiono w publikacji [5]. Skutkiem tych analiz może być np. to, że rozwiązanie z pozoru słuszne pod względem technicznym jest mało społecznie i ekonomicznie opłacalne. Ponadto współczesny ekspert mostowy powinien brać pod uwagę także argumenty wynikające z wymagań zrównoważonego rozwoju. Rozwinięcie tego stwierdzenia można znaleźć np. w [12].

Zupełnie ostatnio zaczęto stosować i rozwijać nieco inny rodzaj analizy należącej do owych miękkich metod – społeczną analizę cyklu życia (ang. *life cycle social analysis* – LCSA), w której w sposób bezpośredni rozpatrywane są szeroko rozumiane społeczne skutki decyzji technicznych, w tym rola czasu jako kategorii ekonomicznej. Analiza ta wyizolowana jest z analiz ekonomicznych i środowiskowych, aby uzyskać wyraźny obraz wpływu inwestycji (budowy nowego lub remontu i modernizacji istniejącego obiektu) na społeczeństwo, czyli tzw. stronę trzecią (ang. *third party*) [12]. Najnowsza tendencja jest stosowanie zintegrowanej (holistycznej, czyli całościowej) analizy cyklu życia obiektu, łączącej analizy: środowiskową ocenę cyklu życia (ang. *life cycle analysis* – LCA), ekonomiczną ocenę cyklu życia (LCCA) i społeczną analizę cyklu życia (LCSA). Procedury niektórych z tych analiz są już przedmiotem odpowiednich norm, np. ISO, oraz są oprogramowane [12]. Wiedza na ten temat jest jeszcze mało rozpowszechniona wśród ekspertów mostowych. Nie można jednak nie podkreślić, że wszystkie te wymienione współczesne analizy oparte są na klasycznych podstawach, które wiele już lat temu zostały w odniesieniu do mostownictwa sformułowane przez Zbigniewa Wasiutyńskiego [13] (ryc. 2). Warto, aby działający dzisiaj rzeczoznawcy zapoznali się z tą książką. Nie wszystko bowiem zostało wynalezione dopiero w dobie Internetu.



Ryc. 2. Okładka książki Zbigniewa Wasiutyńskiego z 1964 r.

Uwagi końcowe

Wyniki diagnostyki stanu technicznego mostów zależą od wielu czynników, do których na etapie eksploatacji obiektów należy ich utrzymanie. Utrzymanie jest czynnikiem zależnym wyłącznie od działalności człowieka, i to bezpośrednio w sferze mostownictwa (por. tab. 1). Newralgicznymi elementami wpływającymi na trwałość i komfort, a z czasem nawet na bezpieczeństwo użytkownika konstrukcji mostowych są elementy ich wyposażenia. Dlatego wymagają wysokiej jakości i szczególnej staranności w utrzymaniu. Analiza wyników punktowej oceny stanu mostów, przeprowadzanej zgodnie z [1, 2], wskazuje, że najniższe oceny uzyskują przeważnie właśnie elementy wyposażenia. To ważna wskazówka.

Rzeczoznawcy (eksperci) mostowi mają znacznie szersze niż dawniej zadania, wykraczające poza twardą wiedzę techniczną. Muszą oni obecnie znać także miękkie metody podejmowania decyzji, co wymaga odpowiedniego przygotowania.

Tab. 2. Metody badania stanu kabli sprężających w mostach betonowych [10]

Metoda badań	Rodzaj metody	Koszt metody	Źródła błędów i uszkodzeń													
			Projekt				Wykonawstwo								Utrz. Ekspł.	
			Niedostateczne sprężenie	Nadmierne sprężenie	Złe rozmieszczenie kabli	Brak niektórych kabli	Kable w nieodpowiednich kanałach	Błędy w naciągu kabli	Pominięcie niektórych kabli	Uszkodzenia kabli	Skutki poślizgu kabli	Skutki zwiększonego tarcia	Zła iniekcja kanałów	Korozja		
A.	Przegląd projektu	1	N	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	x	-	-
	Przegląd dziennika budowy	1	N	-	-	-	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
B.	Oględziny konstrukcji	1	N	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	Odsłonięcie iniekcji	2	S	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Odsłonięcie kabli	3	W	-	-	-	+	+	+	+	+	+	x	+	+	
	Endoskopia	2	S	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-	+	+	
	Radiografia	1	W	-	-	-	+	+	-	+	-	-	-	x	x	
	Ultradźwięki	1	S	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	-	
	Pomiar obj. powietrza w kanałach															
	Emisja akustyczna	2	N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-
	Pomiar potencjału elektrochem.	1	S	-	-	-	x	-	-	x	x	-	-	x	x	
	Pomiar poziomu sprężenia	3	S	x	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	
	Badania metalurgiczne	3	W	-	-	-	-	-	-	-	x	x	x	-	x	
		3	W	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	
C.	Wycinanie rdzeni betonowych	3	S	Ogólny obraz zachowania konstrukcji i cech betonu												
	Pomiar wartości reakcji	1	W													
	Próbne badania statyczne	1	W													
	Próbne badania dynamiczne	1	W													

A – metody analityczne, 1 – metody nieniszczące, N – niski koszt
 B – stosunkowo proste metody poligonowe, 2 – metody częściowo niszczące, S – średni koszt
 C – złożone metody, 3 – metody niszczące, W – wysoki koszt
 + metody przydatne; x metody średnio przydatne; - metody mało przydatne

Literatura

- [1] Instrukcja przeprowadzania przeglądów drogowych obiektów inżynierskich. Załącznik do Zarządzenia nr 14 Generalnego Dyrektora Dróg Krajowych i Autostrad z 7 lipca 2005 r. Warszawa 2005.
- [2] Zasady stosowania skali ocen punktowych stanu technicznego i przydatności do użytkowania drogowych obiektów inżynierskich. Załącznik do Zarządzenia nr 64 Generalnego Dyrektora Dróg Krajowych i Autostrad z 13 listopada 2008 r. Warszawa 2008.
- [3] Borończyk-Płaska G., Radomski W.: *Techniczne, ekonomiczne i estetyczne aspekty poszerzania mostów*. Archiwum Instytutu Inżynierii Lądowej Politechniki Poznańskiej, nr 2. Poznań 2007, s. 5–17.
- [4] Rymasz J.: *Próbne obciążenie obiektów mostowych a obciążenie eksploatacyjne*. „Inżynieria i Budownictwo” 1999, nr 10, s. 584–586.
- [5] Radomski W., Siwowski T.: *Ekspertyzy mostowe – praktyka i wyzwania*. XIII Konferencja Naukowo-Techniczna Warsztat pracy rzeczoznawcy budowlanego, Kielce Cedzyna, 21–23 maja 2014 r., s. 34–53.
- [6] Ryżyński A.: *Trwałość techniczna i użytkowa mostów drogowych oraz jej prognozowanie*. „Drogownictwo” 2005, nr 7–8, s. 195–198.
- [7] Zobel H., Alkhafaji T., Wróbel M.: *Określenie trwałości mostów drogowych*. „Mosty” 2007, nr 2, s. 40–54.
- [8] Radomski W.: *Mosty – remontować i modernizować czy rozbierać?*. XII konferencja Współczesne metody wzmocnienia i przebudowy mostów, Poznań Kiekrz, 11–12 czerwca 2002 r., s. 195–202.
- [9] Borończyk-Płaska G., Radomski W.: *Czas trwania remontu lub przebudowy mostu jako kategoria ekonomiczna*. XIII seminarium Współczesne metody wzmocnienia i przebudowy mostów, Poznań Kiekrz, 17–18 czerwca 2003 r., s. 17–24.
- [10] Radomski W.: *Przegląd metod sprawdzania stanu kabli sprężających w konstrukcjach mostowych*. Księga konferencji Problemy projektowania, budowy i utrzymania małych mostów, Szklarska Poręba–Wrocław 1990, s. 170–177.
- [11] Olaszek P.: *Cyfrowe metody pomiarowe w zastosowaniu do badań mostów*. „Studia z Zakresu Inżynierii” 2015, nr 86, s. 175.
- [12] Siwowski T.: *Algorytm wyboru technologii naprawy mostu według zasad zrównoważonego rozwoju*. „Materiały Budowlane” 2013, nr 9, s. 36–40.
- [13] Wasiutyński Z.: *O analizie efektów użytkowych i nakładów w mostownictwie*. PWN. Warszawa 1964.

Artykuł jest zmodyfikowanym referatem zamówionym i wygłoszonym podczas XIV konferencji Warsztat pracy rzeczoznawcy budowlanego, Kielce Cedzyna, 11–13 maja 2016 r.





Politechnika
Wrocławska

WROCLAWSKIE DNI MOSTOWE

DUŻE MOSTY WIELOPRZESŁOWE

projektowanie, technologie budowy, monitoring

29–30 LISTOPADA 2016

WorkShop

komputerowe wspomaganie projektowania
i budowy konstrukcji inżynierskich

28 LISTOPADA 2016

www.wdm.pwr.edu.pl