

# Metody diagnostyki betonowych konstrukcji mostowych

tekst: **JAN WĘDZICHA**, Koło Naukowe Konstrukcji Mostowych Politechniki Krakowskiej

zdjęcia: **DAWID KISAŁA**, Koło Naukowe Konstrukcji Mostowych Politechniki Krakowskiej

Pod koniec października 2012 r. odbyło się kolejne szkolenie małopolskiego oddziału Związku Mostowców Rzeczypospolitej Polskiej (ZMRP), którego tematem wiodącym były współczesne metody diagnostyki betonowych konstrukcji mostowych. Program szkolenia został rozłożony na dwa dni, podczas których uczestnicy mieli okazję poznać teorię badań diagnostycznych oraz zobaczyć, jak wyglądają one w praktyce na istniejącym obiekcie mostowym.

## Dzień pierwszy

24 października, punktualnie o godzinie 10, członkowie ZMRP zasileni gronem studentów z Koła Naukowego Konstrukcji Mostowych Politechniki Krakowskiej zebrali się w sali konferencyjnej Stałej Wystawy Budownictwa „Chemo-budowa” w Krakowie. Wykład dotyczący teoretycznej części szkolenia wygłosił dr inż. Andrzej Moczko, będący pracownikiem Instytutu Budownictwa Politechniki Wrocławskiej. Mimo że jego specjalnością nie są mosty, a konstrukcje budowlane, to sam przyznał, że obiekty mostowe są najciekawszymi konstrukcjami betonowymi i jego głównym przedmiotem zainteresowań.

W części wprowadzającej dr inż. Moczko przedstawił wybrane egzemplifikacje konstrukcji betonowych, w których zastosowano zaawansowane rozwiązania technologiczne. Posłużył się m.in. przykładem duńskiego mostu Storebælt, gdzie inżynierowie borykali się z problemem skurczu w masywnych blokach kotwiących liny nośne. Aby zmniejszyć odkształcenia skurczowe, zastosowali system rur, którymi po zabetonowaniu tłoczona była zimna woda, zmniejszająca gradient temperatury betonu podczas dojrzewania. Rozwiązanie to sprawdziłoby się doskonale, gdyby nie jeden szczegół. Zapomniano wypompować wodę na okres zimy. Efektem tego było powstanie pęknięć, co prawda niespowodowanych skurczem, a rozszerzalnością wody pod wpływem ujemnych temperatur. Aby

ratować konstrukcję, trzeba było przeprowadzić serię badań, w których osobiście uczestniczył nasz prelegent. Przykład ten ukazuje, jak ważną rolę w procesie budowlanym stanowią metody diagnostyczne, którymi posługujemy się nie tylko dla potrzeb ekspertyz obiektów istniejących, ale też w celach kontroli jakości nowo powstających konstrukcji. Metody te sprawdzają się również w innych, nieco bardziej ekstremalnych przypadkach, czego doświadczył prowadzący szkolenie. Pewnego dnia został on poproszony przez policję o współpracę przy sprawie dotyczącej domniemanego zabetonowania zwłok kobiety zamordowanej przez swojego męża. Również tutaj badania diagnostyczne nie zawiodły; ciało denatki odnaleziono.

Po dość treściwym i pełnym dygresji wstępie dr inż. Moczko przeszedł do analizy aktualnego stanu prawnego oceny parametrów mechanicznych betonu w konstrukcjach mostowych, czyli krótko mówiąc, do obowiązujących norm. Według prelegenta, budownictwo betonowe w Polsce podzielić można na „budownictwo betonowe” i „mosty betonowe”. Jest to ewenement w skali światowej. W większości krajów mosty betonowe znajdują się w zakresie kompetencji „żelbetowca”, mosty stalowe analogicznie w zakresie „stalowca” itp. W Polsce posiadamy odrębną specjalność mostową, która obejmuje wszystkie rodzaje konstrukcji obiektów mostowych, a nawet budowli podziemnych. Polscy



Członkowie ZMRP i studenci Koła Naukowego Konstrukcji Mostowych Politechniki Krakowskiej w czasie szkolenia dotyczącego diagnostyki betonowych obiektów mostowych

mostowcy nie praktykują również projektowania według Eurokodów. Co więcej, norma mostowa PN-91/S-10042 zawiera odmienny od innych podział na klasy betonu. Mamy tu do czynienia z klasami B35 oraz B40, które mijają się z tymi zawartymi w normie betonowej PN-B-03264, gdzie w ich miejsce występuje podział na B37 i B45. Nowa europejska norma betonowa PN-EN 206-1 podaje z kolei wymagania dotyczące badań betonu, ale już nie precyzuje, w jaki sposób interpretować ich wyniki. Norma ta odsyła wielokrotnie do zaleceń projektanta, którego opinia staje się tym samym najważniejsza w porównaniu do innych uczestników procesu budowlanego. Niektóre zalecenia omawianej normy nie są też adekwatne do rzeczywistości. Przykładowo, podane są w niej wymagania dotyczące stopnia napowietrzenia betonu, po spełnieniu których mrozoodporność betonu uważana jest za wystarczającą. Pominięto jednak fakt, że na mrozoodporność – oprócz stopnia napowietrzenia – mają wpływ takie czynniki, jak rozmieszczenie oraz struktura pęcherzyków powietrznych. W efekcie dwie próbki o tym samym stopniu napowietrzenia mogą odznaczać się różnymi wytrzymałościami na działanie zmiennych temperatur.



Dr inż. Andrzej Moczko, pracownik Instytutu Budownictwa Politechniki Wrocławskiej, w trakcie wykładu

Kolejnym punktem spotkania było omówienie konkretnych badań diagnostycznych, zaczynając od lokalizacji i identyfikacji zbrojenia. Przedstawione zostały tutaj takie metody jak: cover-master, profometer, radar, radiografia (promienie  $\gamma$ ) oraz promienie rentgenowskie. O ile pierwsze dwie metody są w Polsce dość powszechnie stosowane, o tyle z kolejnymi spotkać się jest już bardzo trudno. Jeśli chodzi o radar, to niewielu jest specjalistów potrafiących wykonać i zinterpretować wyniki badań przy jego użyciu. Z kolei wykorzystanie radiografii i promieni rentgenowskich jest znacznie ograniczone przez ostre ograniczenia wynikające z przepisów.

Następnym bardzo ważnym zagadnieniem, o ile nie najważniejszym z przedstawionych, są metody kontroli wytrzymałości betonu na ściskanie. Parametr ten możemy poznać z największą dokładnością, wykonując odwierty rdzeniowe i ścisnąjąc je w prasie hydraulicznej. Metoda ta niesie ze sobą szereg korzyści. Odwiercone próbki można zinventaryzować gołym okiem, określając wizualny stan struktury betonu oraz zastosowane kruszywo. Bardzo ważną kwestią jest odpowiednie przygotowanie odwiertów przed ściskaniem. Wykonuje się to przez równoległe szlifowanie ściskanych powierzchni lub przez kapslowanie, czyli wykonanie specjalnych nakładek wypełnionych medium (np. piaskiem), które umożliwi osiowe przyłożenie siły pochodzącej od prasy hydraulicznej. Dr inż. Andrzej Moczko podkreślił, że inżynier będący stroną w sporze, którego rozstrzygnięcie ma dać badanie wytrzymałości betonu na ściskanie, ma prawo w nim osobiście uczestniczyć i dopilnować, aby właściwie przygotowano próbki.

Inną metodą pomiaru wytrzymałości betonu na ściskanie jest pull-out. W badaniu tym mierzymy siłę wrywającą, przekazywaną na beton przez umieszczoną w nim kotwę. Siła ta bezpośrednio przelicza się na wytrzymałość na ściskanie. W zależności od sposobu zamocowania wspomnianej kotwy w betonie różni się dwie odmiany badania: LOK-test, gdzie kotwa jest bezpośrednio zabetonowana podczas realizacji obiektu, oraz CAPO-test, kotwa jest umieszczona w specjalnie frezowanym otworze.

Ostatnim z przedstawionych i chyba najbardziej kontrowersyjnym badaniem określającym wytrzymałość na ściskanie jest badanie sklerometryczne z użyciem młotka Schmidta. Metoda ta polega na pomiarze twardości powierzchniowej betonu, którą za pomocą krzywych regresji można odnieść do wytrzymałości na ściskanie. Problemem jest to, że nie istnieje żadna globalna krzywa odnosząca się ogólnie do wszystkich betonów. Efekt tego jest konieczność wyprowadzania indywidualnych wzorów krzywych dla każdego badanego obiektu z osobna. Aby to zrobić, konieczne jest wykonanie odwiertów, które zostaną zbadane najpierw młotkiem Schmidta, a później ściśnięte w prasie hydraulicznej. Dysponując takimi wynikami badań, za pomocą określonej procedury można wyznaczyć krzywą przedstawiającą zależność między twardością powierzchniową i wytrzymałością na ściskanie na konkretnym obiekcie. Już w tym momencie należy zadać sobie pytanie, czy jest sens stosowania tej metody, skoro i tak zakłada ona wykonanie odwiertów rdzeniowych. Należy również pamiętać, że sprawność działania młotka Schmidta musi być sprawdzona na specjalnym kowadlu kontrolnym przed i po przeprowadzonych badaniach. Badania można wykonywać jedynie w określonym przedziale temperatur, wynoszącym 10–35 °C. Wpływ na odczyt pomiaru w tym badaniu mają też takie czynniki, jak pozycja młotka, wpływ wieku betonu, rodzaj deskowania użytego przy betonowaniu oraz pokrycie powierzchni betonu farbami. Można też ogólnie stwierdzić, że wykorzystując tę metodę, badamy tylko wytrzymałość powierzchni elementu betonowego, nie wiemy, co dzieje się głębiej. Biorąc pod uwagę wszystkie zmienne wpływające na wyniki metody sklerometrycznej, należy stwierdzić, że daleko jej do doskonałości. Nie oznacza

to oczywiście, że nie ma dla niej miejsca w budownictwie. Badania młotkiem Schmidta doskonale nadają się do kontroli jednorodności betonu. Stosować można je również w zakładach prefabrykacji, gdzie wykonuje się całe serie elementów z takiego samego betonu.

Innymi badaniami diagnostycznymi, które zostały krótko omówione na konie szkolenia, były pull-off, aquamerck test, rapid chloride test, rainbow test oraz test fenoloftaleinowy. W badaniu pull-off należy przykleić specjalnym klejem metalowy krążek do powierzchni betonu, następnie nawiercić kilkucentymetrowy rowek naokoło wspomnianego krążka. Ostatnim krokiem jest oderwanie betonu przy pomocy urządzenia, które przekazuje siłę wrywającą na krążek, a ten z kolei poprzez klej na beton. Wartością otrzymaną dzięki badaniu jest wytrzymałość na odrywanie. Aquamerck test oraz rapid chloride test to metody umożliwiające ocenę stężenia siarczanów i chlorków w przekroju betonowym. Z kolei rainbow test oraz test fenoloftaleinowy pozwalają na określenie stopnia karbonatyzacji warstwy przypowierzchniowej betonu. Współczynniki użyte w obu testach naniesione na powierzchnię badanego elementu zmieniają swój kolor w zależności od odczynu PH. Im niższe PH, tym odczyn jest bardziej kwasowy i tym gorzej dla stali zbrojeniowej, która w środowisku kwasowym ma doskonałe warunki do korozji.

Po takiej ilości przyswojonych informacji uczestnicy szkolenia udali się na obiad, podczas którego mieli czas na przedyskutowanie wszelkich niejasności, spostrzeżeń oraz uwag dotyczących wykładu. Już następnego dnia będą oni mieli szansę na wykorzystanie nabytej wiedzy teoretycznej w praktyce, kiedy to odbędzie się druga część szkolenia, pokazująca jak „od kuchni” wyglądają badania diagnostyczne na istniejącym obiekcie mostowym.

## Dzień drugi

25 października o godzinie 9 odbyła się druga część szkolenia. Była to część praktyczna, w czasie której omawiane dzień wcześniej badania diagnostyczne miały zostać zaprezentowane na istniejącym moście. Obiektem badań, wybranym przez organizatorów szkolenia, był wiadukt drogowy zlokalizowany w ciągu drogi krajowej nr 7, nad ulicą Forteczną w Węgrzcach. Podobnie jak część teore-



Badanie sklerometryczne z użyciem młotka Schmidta



Detekcja zbrojenia przy użyciu profometera

tyczną, również drugą część spotkania poprowadził dr inż. Andrzej Moczko z Politechniki Wrocławskiej.

Jako pierwsze zostało przedstawione badanie sklerometryczne młotkiem Schmidta. Jak już wiemy, aby było ono prawidłowo przeprowadzone, potrzebne są wyniki ściskania odwiertów rdzeniowych, uprzednio zbadanych młotkiem Schmidta. Wykonanie odwiertów przez osoby wyznaczone przez organizatorów miało miejsce w przeddzień szkolenia i samo w sobie okazało się niełatwym zadaniem. Na sześć zleconych odwiertów wykonano jedynie cztery, ponieważ podczas wiercenia piątego złamało się wiertło. Kontrowersyjne były też wyniki ściskania. Na cztery ściśnięte próbki dwie miały wytrzymałość rzędu 40 MPa, podczas gdy pozostałe dwie odznaczały się wytrzymałościami rzędu 26 MPa. Otrzymał więc wyniki różniące się od siebie o 35%. Prawdopodobnie było to spowodowane tym, że próbki o mniejszej wytrzymałości pękły podczas wykonywania odwiertów. Następnie, po sprawdzeniu młotka Schmidta na kowadło kontrolnym, każdy ochotnik spośród uczestników miał szansę sprawdzić swoje siły i wykonać serię 10 uderzeń młotkiem. Również w tym przypadku pozornie łatwe badanie, jak się wcześniej wydawało, wymagało użycia siły fizycznej, co w przypadku płci pięknej stało się sporym utrudnieniem.

Następnym badaniem, jakie zaprezentował dr inż. Andrzej Moczko, była detekcja zbrojenia za pomocą urządzenia o nazwie profometer. Badanie to polega na przesuwaniu głowicy aparatu po powierzchni badanego elementu. Głowica ta wytwarza pole elektromagnetyczne, które zostaje zakłócone, jeśli natrafi ona na pręt zbrojeniowy. Fakt ten jest przez urządzenie rozpoznawany i przekazywany

użytkownikowi przez charakterystyczny dźwięk i zapalenie się czerwonej diody. Stosując tę metodę, mamy do czynienia z dwiema niewiadomymi: średnicą pręta oraz grubością otuliny. W uproszczeniu, urządzenie zareaguje w ten sam sposób, zarówno jeśli napotka cieniutki pręt zbrojeniowy zaraz przy powierzchni badanego elementu, jak również w przypadku, gdy wykryje gruby pręt, ale znajdujący się w większej odległości od głowicy. Tak więc, aby w pełni wykorzystać możliwości profometera, konieczna jest znajomość co najmniej jednego z tych parametrów. Urządzenie jest w stanie wykrywać pręty zbrojeniowe w odległości do 8 cm od powierzchni elementu, co jest w pełni wystarczające, zważywszy na to, że większe grubości otuliny nie są powszechnie stosowane.

Po detekcji zbrojenia przysłała kolej na badanie stężenia chlorków za pomocą metody rapid chloride test. Głównym elementem aparatury do wykonania badania jest specjalna głowica, podłączona do komputera, która reaguje na zmianę stężenia chlorków w roztworze. Aby przystąpić do badania, należy skalibrować urządzenie. Głowicę maczamy kolejno w pojemnikach, w których znajdują się cieczy o znanym stężeniu chlorków. W zależności od stężenia, odczytujemy z aparatu różnicę potencjałów pola elektrycznego, wyrażoną w Voltach. Otrzymane wyniki interpolujemy prostą, otrzymując w ten sposób wykres zależności napięcia pola elektrycznego od stężenia chlorków. Po sporządzeniu takiego wykresu należy pobrać pył betonowy, nawiercając element wiertarką. Należy tutaj zwrócić uwagę, że stężenie chlorków w przekroju betonowym nie jest stałe i konieczne jest pobranie pyłu z kilku miejsc, a konkretnie z powierzchni elementu, z połowy gru-

bości otuliny oraz z poziomu zbrojenia. Pył z każdego z tych miejsc umieszczamy w osobnych ampułkach, w których ma również miejsce ważenie objętościowe. Na potrzeby badania konieczne jest bowiem odważenie pięciu gramów pyłu betonowego. Wykonujemy je, sypiąc go równo do poziomu podziałki na ampułce. Tak odważony pył wysypujemy do pojemnika z roztworem kwasu solnego i mieszamy przez 5 minut. Następnie w roztworze zanurzamy głowicę urządzenia i odczytujemy napięcie elektryczne, które dzięki wcześniej sporządzonemu wykresowi odnosimy do stężenia chlorków w badanym roztworze. Stężenie to wyrażone jest w procentach masy betonu, co jak sugeruje norma, należy odnieść do masy cementu i porównać z wartościami granicznymi.

Na koniec została zaprezentowana aparatura do wykonywania CAPO-testu, czyli jednej z odmian badania pull-out. Niestety, samo wykonanie badania nie było możliwe z przyczyn technicznych, co doskonale zrekompensował prowadzący szkolenie, przedstawiając krok po kroku jak powinien wyglądać przebieg badania i zapoznając uczestników z mechanizmami zachodzącymi przy umieszczaniu kotwy w elemencie betonowym.

Na tym zakończył się drugi dzień szkolenia ZMRP dotyczącego diagnostyki betonowych obiektów mostowych. Oprócz przedstawionych metod badawczych oraz towarzyszących im zagadnień, szkolenie obfitowało w rozmaite i pełne poczucia humoru dygresje o podłożu satyryczno-budowlanym, którymi dzielił się z uczestnikami prowadzący szkolenie dr inż. Andrzej Moczko. Za ogrom wiedzy merytorycznej oraz doświadczenie, którymi podzielił się z uczestnikami szkolenia, należą mu się serdeczne podziękowania.