

Kontrola jakości robót betonowych w czasie modernizacji autostrady A2 Konin – Września. Podsumowanie doświadczeń

Realizacja polskiego programu budowy autostrad obejmuje zarówno budowę nowych obiektów mostowych, jak i modernizację już istniejących. Dotychczasowe doświadczenia w tym względzie wykazują, że o ile projektowanie nowych konstrukcji nie stwarza większych problemów, to opracowanie projektu robót remontowych, połączonych zwykle z modernizacją istniejących obiektów mostowych, wiąże się zwykle z wieloma trudnościami.

Niestety, złą praktyką jest projektowanie remontu niejako „na wyczucie” i uzależnienie wyboru technologii naprawy oraz zakresu robót od bieżącej sytuacji na budowie. Objawia się to najczęściej całkowitym zaniechaniem, bądź też znacznym ograniczeniem zakresu badań, realizowanych na etapie przedprojektowym i przerzuceniem na wykonawcę obowiązku wykonania większości z nich w czasie realizacji samych robót remontowych. Sytuacja tego rodzaju prawie zawsze prowadzi do opóźnień w realizacji inwestycji i powstania znacznych, nieuzasadnionych dodatkowych kosztów. Jest również źródłem nieuniknionych nieporozumień i napięć pomiędzy uczestnikami procesu inwestycyjnego. Tego rodzaju oszczędności, poczynione na diagnostyce, bardzo często także drogo kosztują. Do podstawowych przyczyn tego stanu rzeczy należy w pierwszej kolejności zaliczyć:

- brak środków finansowych na rynku budowlanym i wynikające z tego faktu dążenie do ograniczenia za wszelką cenę kosztów opracowania, niestety często kosztem jego jakości
- powszechne przekonanie o nieomyślności ludzkich zmysłów
- brak niezbędnego wyposażenia technicznego
- brak szczegółowej wiedzy odnośnie warunków technicznych realizacji badań diagnostycznych oraz właściwej interpretacji uzyskiwanych wyników
- tolerowanie przez inwestorów „bylejakości” ekspertów i projektów.

W pracy przedstawiono próbę podsumowania doświadczeń, uzyskanych w czasie nadzoru badawczego nad realizacją remontu dziewięciu betonowych obiektów mostowych, zlokalizowanych w ciągu autostrady A2 Konin – Września (fot. 1). Zwrócono uwagę na znaczenie badań diagnostycznych, realizowanych na etapie przedprojektowym, jako podstawy do rzetelnej oceny aktualnego stanu technicznego obiektu oraz warunku miarodajnego oszacowania charakteru i zakresu niezbędnych robót remontowych. Omówiono pojawiające się problemy badawcze oraz sformułowano szereg uwag i praktycznych spostrzeżeń, które mogą być, zdaniem autorów, użyteczne dla poszerzenia wiedzy odnośnie prawidłowości prowadzenia tego rodzaju badań diagnostycznych, a co za tym idzie podniesienia ich jakości. Przedstawiono wniosek, dotyczące zarówno normowej kontroli jakości betonu, prowadzonej w warunkach laboratoryjnych, jak i badań „in-situ”.

Badania laboratoryjne próbek – czy są potrzebne?

Odpowiedź na to pytanie wydaje się być oczywista – są potrzebne! Wszak wymagają ich stosowne przepisy normowe [1,2], a co za tym idzie spe-

cyfikacje techniczne na wszelkie roboty betonowe. W rzeczywistości jednak, praktyka inżynierska wskazuje na szereg wątpliwości. Wątpliwości te dotyczą zarówno samych procedur badawczych, jak i zakresu badań wymaganych na placu budowy. O ile kwestia konieczności kontroli wytrzymałości betonu na ściskanie nie budzi większych wątpliwości, gdyż stanowi ona naturalną kontrolę jego jakości, a ewentualne uzyskanie wyniku negatywnego pozwala na podjęcie różnego rodzaju działań zaradczych, to dyskusyjny jest wymóg obszernych i kosztownych badań mrozoodporności czy wodoszczelności betonu, wykonywanych przez wykonawcę. Po pierwsze, ze względu na czasochłonność badań, wyniki są znane po upływie kilkunastu tygodni. Po drugie, w przypadku wyniku negatywnego, w zasadzie jedynym rozwiązaniem pozostaje podjęcie decyzji o rozbiórce. Poza tym wykonawca praktycznie nie ma żadnego wpływu na uzyskiwany wynik, ponosząc jednocześnie pełną odpowiedzialność za ewentualne niedociągnięcia, popełniane przez dostawcę betonu. Sytuacja tego rodzaju może prowadzić do różnego rodzaju patologii, nie wykluczając tworzenia wyników „wirtualnych”.

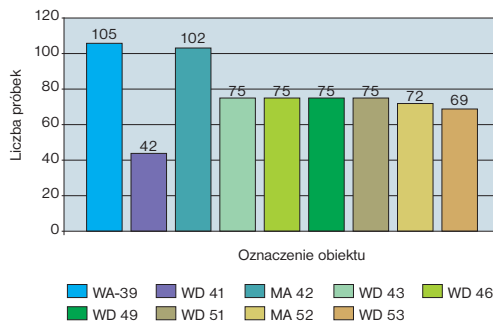
Wydaje się więc, że bardziej sensownym jest zalecenie okresowego przeprowadzania tego rodzaju badań przez producenta betonu pod kontrolą nadzoru technicznego inwestycji. Rozwiązanie to pozwoliłoby wyeliminować szereg anomalii, powszechnie spotykanych w specyfikacjach technicznych, takich jak na przykład wymóg realizacji niezależnych badań tego samego rodzaju betonu dla każdego remontowanego obiektu oddzielnie, pomimo że beton został wyprodukowany w tym samym dniu i dostarczony na kilka różnych obiektów. „Nadgorliwość” tego rodzaju prowadzi do „nadprodukcji próbek”, której dobrą ilustracją jest wykres 1, który przedstawia liczbę przebadanych próbek dla wybranych dziewięciu obiektów mosto-

Fot. 1. Zmodernizowany wiadukt drogowy WD-53 w ciągu autostrady A2



fot. Archiwum

Wykres 1. Zestawienie liczb przebadanych próbek w rozbięciu na poszczególne obiekty



wych, remontowanych w ciągu autostrady A2.

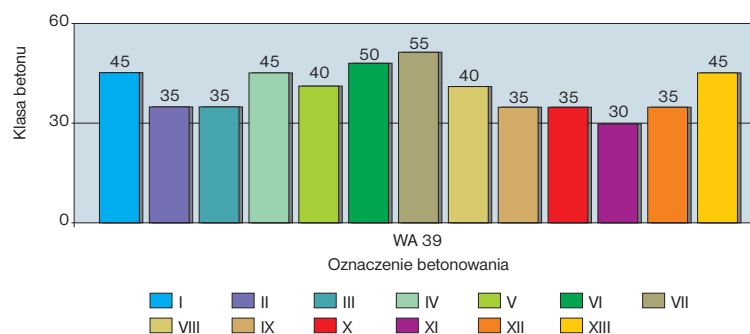
Łącznie wykonano:

- 78 badań wytrzymałościowych
- 51 badań nasiąkliwości
- 17 badań wodoprzepuszczalności
- oraz 17 badań mrozoodporności.

Razem przebadano 690 próbek, co daje około 5,6 tony betonu.

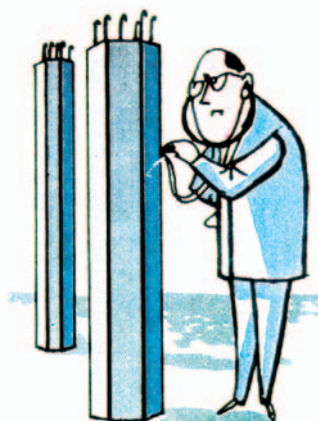
Bardzo częstym przypadkiem spotykanym w praktyce remontowej obiektów mostowych jest również fakt, iż dostawca betonu lekceważy wymagania jakościowe sformułowane w zamówieniu, dostarczając na budowę beton o zawyżonych parametrach wytrzymałościowych, jak to miało na przykład miejsce w przypadku remontu wiaduktu WA-39 (wykres 2). W tym przypadku, na 13 betonowań, w których zamówiony został beton klasy B30, dostawca dostarczył beton o żądanych parametrach mechanicznych tylko jeden raz.

Wykres 2. Wiadukt WA-39 – rzeczywisty rozkład wytrzymałości betonu na ściskanie



Tylko pozornie tego rodzaju praktyki nie mają istotnego znaczenia dla prawidłowości realizacji inwestycji. Wszak wykonawca, co prawda nieświadomie i wbrew swojej woli, otrzymuje beton o wyższej jakości, płacąc za niego niższą

Rys. 1. Inżynier budowlany – lekarzem???



cenę. W rzeczywistości jednak napotyka on na szereg problemów, związanych z zarysowaniem betonu, wynikających z faktu, iż prawidłowo zaprojektowana ilość zbrojenia niejednokrotnie jest niewystarczająca do przeniesienia rzeczywistych naprężeń skurczowych spowodowanych „nieuzasadnionym” zwiększeniem parametrów wytrzymałościowych wbudowanego betonu.

Nieniszcząca kontrola robót betonowych

W ostatnich latach nastąpił dynamiczny rozwój prac badawczych, które stworzyły podstawy do opracowania nowych technik nieniszczącej diagnostyki konstrukcji budowlanych, w szczególności betonowych. Pojawiło się szereg nowych możliwości badawczych, które pozwalają na udzielenie bezpośrednio na obiekcie szybkiej i precyzyjnej odpowiedzi na większość pytań nurtujących współczesnego inżyniera budowlanego. Ma on do dyspozycji bogaty zestaw aparatury diagnostycznej, która jest wyrazem praktycznego wykorzystania najnowszych osiągnięć myśli technicznej z tego zakresu. Efektywne wykorzystanie w praktyce inżynierskiej tych możliwości wymaga często sporego doświadczenia i umiejętności krytycznej interpretacji uzyskiwanych wyników. Wyjątkowo niebezpieczne jest tu „rutynowe” podejście do tego rodzaju badań, szczególnie groźne w przypadku wykonywania znacznej liczby różnych pomiarów, na podobnych obiektach i w pozornie zbliżonych warunkach. W istocie rzeczy, współczesne badania konstrukcji budowlanych są bowiem coraz bardziej zbliżone do nowoczesnego warsztatu badawczego, wykorzystywanego w diagnostyce medycznej, co żartobliwie ilustruje rys. 1. Uwaga ta dotyczy zarówno samych procedur badawczych, jak i ponoszonej odpowiedzialności.

Dlatego też szczególnie istotne jest dochowanie należytej staranności przy opracowywaniu specyfikacji technicznych wykonania i odbioru robót remontowych, gdyż niefrasobliwość w tej kwestii może prowadzić do nieporozumień i napięć pomiędzy uczestnikami procesu inwestycyjnego oraz do powstania dodatkowych, nieuzasadnionych kosztów.

Za przykład tego rodzaju niefrasobliwości może posłużyć często spotykany wymóg przeprowadzenia badania wytrzymałości betonu na odrywanie w czasie realizacji remontu na etapie poprzedzającym roboty rozbiórkowe. Badanie tego rodzaju winno być wykonane znacznie wcześniej, przed podjęciem przez projektanta decyzji odnośnie sposobu naprawy „starego” betonu. W tym przypadku niedopatrzenie projektanta obciąża wykonawcę, na którego nie tylko zrzuca się odpowiedzialność, ale i wymusza poniesienie znacznych kosztów.

Sklerometr Schmidta – urządzenie nadal nieznanne

Sklerometr Schmidta, potocznie znany jako „młotek Schmidta”, jest urządzeniem na tyle powszechnie znanym, że wiele osób nie zdaje sobie sprawy z faktu, iż od ponad 2 lat mamy nową normę z tego zakresu [3]. W warunkach polskich jest on wykorzystywany od ponad 40 lat. Mogłoby się więc wydawać, że stosowanie go nie powinno nastęrczać żadnych trudności. Okazuje się jednak, iż prawda jest zgoła inna. Powszechnie popełniane są błędy, które wynikają w znacznym stopniu z braku wiedzy, ale

głównie spowodowane są lekceważeniem oczywistych faktów i przeświadczeniem, że „fizykę” zjawisk towarzyszących tego rodzaju pomiarom można bezkarnie ignorować w imię wyższych racji. A racje te to przede wszystkim prostota pomiaru i przeświadczenie o możliwości „taniego” oszacowania wytrzymałości betonu na ściskanie, podstawowego parametru oceny jego jakości. Spośród szeregu zagadnień, które stanowią źródło wielu nieporozumień, wypada wymienić takie kwestie jak:

- Każdorazowo przed i po badaniach niezbędna jest kontrola sprawności wykorzystywanego urządzenia na kowadełku kontrolnym.
- Wykorzystywanie młotka Schmidta typu „N” (fot. 2) do badania masywnych konstrukcji betonowych jest poważnym błędem w sztuce, jako że do tego celu przeznaczony jest młotek typu „M” (fot. 3).
- Wykonywanie badań sklerometrycznych bez skalowania krzywej regresji na odwiertach kontrolnych pobieranych z badanej konstrukcji jest błędne i niezgodne z obowiązującymi w tym względzie przepisami normowymi. Nie istnieje żadna „ogólna” ani „globalna” krzywa regresji, prawdziwa dla betonu jako takiego. Warunkiem wiarygodności oceny wytrzymałości betonu za pomocą metody sklerometrycznej jest weryfikacja hipotetycznej krzywej regresji wynikami badań wytrzymałościowych odwiertów kontrolnych (minimum na trzech próbkach). Innymi słowy, bez pobrania odwiertów kontrolnych nie może być mowy o rzetelnej ocenie wytrzymałości betonu tą metodą. W przeciwnym wypadku popełniony błąd może sięgać kilkudziesięciu procent zarówno „in plus”, jak i „in minus” w stosunku do wartości rzeczywistej.
- Miejsca pomiarowe muszą być odpowiednio przygotowane, najlepiej przeszlifowane, tak aby usunąć mleczko cementowe oraz wszelkiego rodzaju zanieczyszczenia występujące na powierzchni betonu. Badania sklerometryczne winny być przeprowadzone na „zdrowym” i oczyszczonym fragmencie betonu, przynajmniej w przybliżeniu reprezentatywnym dla betonu znajdującego się w środku badanego elementu. O braku powszechnej świadomości w tej kwestii świadczyć może między innymi fakt, iż nagminnym jest stawianie w specyfikacjach technicznych robót remontowych wymogu wykonywania badań sklerometrycznych przed i po zakończeniu robót rozbiórkowych i przygotowawczych (np. po piaskowaniu). Jest to oczywiście nieporozumienie, jako że realizacja tych robót w żadnym stopniu nie wpływa na wielkość wytrzymałości betonu na ściskanie.
- Liczba odbicia na badanej powierzchni zwykle znacznie różni się od liczby odbicia rejestrowanej na poboczniczy odwiertów. Doświadczenie wskazuje, że nie jest to wpływ wieku betonu, jak sugeruje Instrukcja ITB sprzed około 30 lat, a proponowany w niej globalny współczynnik wieku równy 0,6 (betony starsze niż 3 lata) jest mocno dyskusyjny. Efekt ten nie jest także uzależniony wyłącznie od stopnia karbonatyzacji przypowierzchniowej warstwy betonu. Ponadto, ten sam beton może charakteryzować się istotnie różną sprężystością powierzchni (liczbą odbicia) w zależności od stanu naprężenia badanej konstrukcji. Ma to szczególne znaczenie w przypadku konstrukcji sprężonych. Wszystkie te uwarunkowania mogą się wzajem-



Fot. 2. Sklerometr Schmidta typu „N” w czasie badania masywnej podpory mostowej

nie potęgować, lub też niwelować. W tej sytuacji jedynym logicznym i wiarygodnym rozwiązaniem powyższej kwestii wydaje się być każdorazowe eksperymentalne wyznaczanie stosownego współczynnika korekcyjnego.

Pomiary „pull-off” – pułapki i niespodzianki

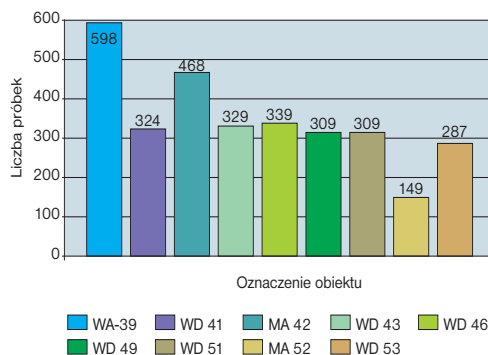
Badania wytrzymałości betonu na odrywanie stanowią obecnie jedno z najbardziej pracochłonnych i kosztownych badań, realizowanych w czasie robót remontowych betonowych obiektów mostowych. Przykładowo, w czasie modernizacji dziewięciu obiektów mostowych w ciągu autostrady A2 na odcinku Września – Konin (wykres 3) wykonano łącznie 3122 pomiary, co odpowiada powierzchni betonu rzędu 14 m². Zasadniczym celem tego rodzaju pomiarów na etapie przedprojektowym jest ustalenie, czy dla danego elementu możliwe jest zastosowanie nowoczesnych napraw powierzchniowych. Jest to bardzo ważny pomiar [4], gdyż bardzo często od jego wyniku zależy właściwe lub błędne zastosowanie relatywnie bardzo drogiego systemu napraw powierzchniowych. Dlatego też należy ściśle przestrzegać warunków technicznych tego rodzaju badań. Uzyskane w tej kwestii doświadczenia wskazują, iż w szczególności należy zwracać uwagę na następujące zagadnienia:

- Badania wytrzymałości betonu na odrywanie winny być poprzedzone każdorazowo oceną jego wytrzymałości na ściskanie. Tylko beton, którego wytrzymałość na ściskanie wynosi nie mniej niż 25 MPa, może zostać poddany



Fot. 3. Sklerometr Schmidta typu „M”

Wykres 3. Zestawienie liczb wykonanych pomiarów „pull-off” w rozbiciu na poszczególne obiekty



tego rodzaju zabiegom naprawczym, przy czym należy podkreślić, że wymóg ten jest zaniżony np. w stosunku do wymagań obowiązujących w Niemczech (minimum 30 MPa).

- W miejscach przewidzianych do badań należy dokładnie wyrównać powierzchnię badanego betonu i oczyścić ją z kurzu i zanieczyszczeń. Unikamy także miejsc, na powierzchni których widoczne są wszelkiego rodzaju uszkodzenia. Celem badań jest bowiem „zdrowy” beton, a nie

Fot. 4. Pomiar „pull-off” – widok siłownika hydraulicznego w czasie pomiaru



jego uszkodzone fragmenty, które i tak będą musiały w czasie remontu zostać usunięte.

- W każdym przypadku należy wokół przyklejonego krążka nawiercać koronką diamentową rowek na żądaną głębokość. Zaleca się, aby głębokość ta wynosiła około 50% średnicy zastosowanych

Fot. 5. Pomiar „pull-off” – widok prawidłowego przetłomu



krążków stalowych. W każdym razie nawiercenie to nie powinno być płytsze niż około 10-15 mm.

- Zawsze należy najpierw przykleić krążki do powierzchni betonu, a dopiero po stwardnieniu kleju nawiercać go wokół krążków, przy czym sam pomiar wytrzymałości na odrywanie winien nastąpić bezpośrednio po nawierceniu betonu (nie później niż po godzinie). W przeciwnym razie uzyskiwane wyniki mogą być w znacznym stopniu zaniżone.
- Pomiar siły odrywającej winien być realizowany ze stałą prędkością, zgodnie z instrukcją stosowanego sprzętu. W czasie pomiaru należy zwracać szczególną uwagę na zapewnienie stałego przyrostu naprężeń. Wymóg ten ma kluczowe znaczenie dla wiarygodności wykonywanych pomiarów. Z tego też punktu widzenia wszelkie urządzenia, które realizują obciążenie za pomocą siłowników hydraulicznych (fot. 4), są znacznie dokładniejsze od urządzeń bazujących na przekładniach mechanicznych.
- O wiarygodności przeprowadzonych pomiarów decyduje w pierwszej kolejności charakter używanego przetłomu (fot. 5).
- Nieuzasadnione jest, często spotykane w specyfikacjach na roboty remontowe, żądanie badania wytrzymałości „nowego” betonu na odrywanie przed przygotowaniem jego powierzchni (np. piaskowaniem), jako że operacja ta jest i tak niezbędna ze względów technologicznych, a pomiar wytrzymałości na odrywanie ma w tym przypadku sens jedynie jako kontrolny, dla upewnienia się, że powierzchnia betonu spełnia wymagania związane z zapewnieniem wymaganej przyczepności podłoża do układanych na nim warstw izolacyjnych, bądź innego rodzaju warstw wykończeniowych (np. żywic na chodnikach). Sam „nowy beton mostowy” o wytrzymałości odpowiadającej klasie nie mniejszej niż B30 z całą pewnością charakteryzuje się wystarczającą wytrzymałością na rozciąganie.

Karbonatyzacja betonu – blaski i cienie

Pojęcie głębokości skarbonatyzowanej warstwy betonu jest pojęciem w znacznym stopniu „wirtualnym”, uzależnionym od „czułości” zastosowanej metody pomiarowej. Z punktu widzenia chemicznego odczyn pH równy 11,8 uznaje się powszechnie za graniczny, poniżej którego obniża się naturalna zdolność betonu do pasywacji zbrojenia.

- W przypadku testu fenoloftaleinowego zmiana koloru z bezbarwnego na czerwony (kryterium oceny) następuje przy pH równym 8,5÷9,5, zaś w przypadku testu tymoloftaleinowego zmiana barwy wskaźnika z bezbarwnego na niebieski (kryterium oceny) następuje przy pH równym 9,3÷10,5. Natomiast dla pomiarów dokonywanych za pośrednictwem „Rainbow-Testu” przyjmuje się, że przejście palety barw z koloru fioletowego na zielony (pH=9) sygnalizuje spadek pH poniżej wartości uznawanej za graniczną i potencjalne zagrożenie korozyjne zbrojenia.
- Ponadto należy stwierdzić, że zasięg procesu karbonatyzacji nie tyle jest uwarunkowany wiekiem betonu, co jego jakością, a w szczególności jego szczelnością, gęstością oraz miejscem wbudowania. Przykładem może być fot. 6, na której pokazano odwiert kontrolny, pobrany z jednej

z podpór wiaduktu drogowego, dla której wiek betonu w chwili badania wynosił ponad 30 lat, a zasięg karbonatyzacji jego warstwy przypowierzchniowej był praktycznie zerowy.

- Powszechne żądanie badania zasięgu karbonatyzacji przed przystąpieniem do wykonania robót rozbiórkowych i przygotowawczych (np. piaskownia) wydaje się być zbytnią nadgorliwością, jako że po ich wykonaniu tego rodzaju pomiary kontrolne i tak są niezbędne. Wymóg ten, często formułowany w specyfikacjach technicznych, obciąża wykonawcę dodatkowymi, nieuzasadnionymi kosztami.

Badania elektromagnetyczne – „dziecko” niechciane

Możliwości wykorzystania w praktyce inżynierskiej metody elektromagnetycznej są nadal powszechnie niedoceniane. Fakt ten musi budzić zdziwienie, jako że z praktycznego punktu widzenia pomiary tego typu są relatywnie proste i, jak mało które spośród dostępnych technik pomiarowych, bezpośrednio praktycznie użyteczne. Pozwalają one bowiem w sposób całkowicie nieniszczący na wiarygodne zlokalizowanie i zidentyfikowanie stalowych prętów zbrojeniowych w konstrukcjach betonowych wszelkiego rodzaju. Przy dzisiejszym poziomie wiedzy, trudno sobie wyobrazić jakiegokolwiek odpowiedzialne wykonanie otworu w istniejącej konstrukcji bez uprzedniego ustalenia położenia stali zbrojeniowej. Jednocześnie pomiary tego typu dają możliwość stosunkowo precyzyjnego określenia zarówno średnicy prętów zbrojeniowych, jak i grubości ich betonowej otuliny. Uwaga ta dotyczy zarówno obiektów modernizowanych, jak i będących w fazie realizacji.

Śród dostępnych na rynku zestawów pomiarowych na uwagę zasługują dwie grupy wysokiej klasy urządzeń tego typu:

- urządzenia typu „Cover-Master”, pochodzenia brytyjskiego (fot. 7)
- oraz grupa urządzeń znana pod ogólną nazwą „Profometer”, pochodzenia szwajcarskiego.

Naturalnie metoda ta ma także swoje ograniczenia. Przykładowo, przy rozstawie prętów zbrojeniowych mniejszym niż około 5-6 cm, uzyskiwane wyniki są mocno problematyczne. Kolejną barierą jest brak możliwości nieniszczącego ustalenia rodzaju zastosowanej stali zbrojeniowej i to zarówno w kwestii: gładka czy żebrowana, jak i w kwestii oceny charakteru jej użebrowania. Pomiary tego typu nie dają również możliwości sprawdzenia, czy pręty zbrojeniowe są ułożone w jednym czy też w kilku rzędach.

Z tych też względów badaniom elektromagnetycznym powinno towarzyszyć wykonanie kilku odkrywek zbrojenia, szczególnie jeśli mamy do czynienia z jego znacznym zagęszczeniem. Przestrzeganie tej zasady pozwala niejednokrotnie uniknąć popełnienia wielu błędów, które ze względu na wymóg zapewnienia niezbędnego bezpieczeństwa konstrukcji oraz wymowę ekonomiczną podejmowanych decyzji mogą mieć niezwykle daleko idące konsekwencje.

Wnioski

- Wszechstronna diagnostyka obiektu mostowego jest niezbędnym warunkiem opracowania „dobrego” projektu jego remontu. Zaniechania w tej kwestii prawie zawsze powodują opóźnienia w realizacji inwestycji i bardzo drogo kosztują.
- Niefrasobliwość w opracowaniu specyfika-



fot. Archiwum

cji technicznych na roboty remontowe prowadzi zwykle do nieporozumień i napięć pomiędzy uczestnikami procesu inwestycyjnego oraz do powstania dodatkowych, nieuzasadnionych kosztów.

- Dostępna aktualnie aparatura badawcza umożliwia praktycznie rozwiązanie każdego problemu bezpośrednio na budowie bez potrzeby drogich i czasochłonnych badań laboratoryjnych.
- Wiarygodne i fachowo wykonane badania gwarantują możliwość szybkiego podjęcia decyzji, niezbędnych do optymalnego rozwiązania problemów technicznych, towarzyszących zwykle realizacji inwestycji budowlanej.

dr inż. Andrzej Moczek

dr inż. Marta Moczek

Instytut Budownictwa Politechniki Wrocławskiej

mgr inż. Ryszard Wodyński

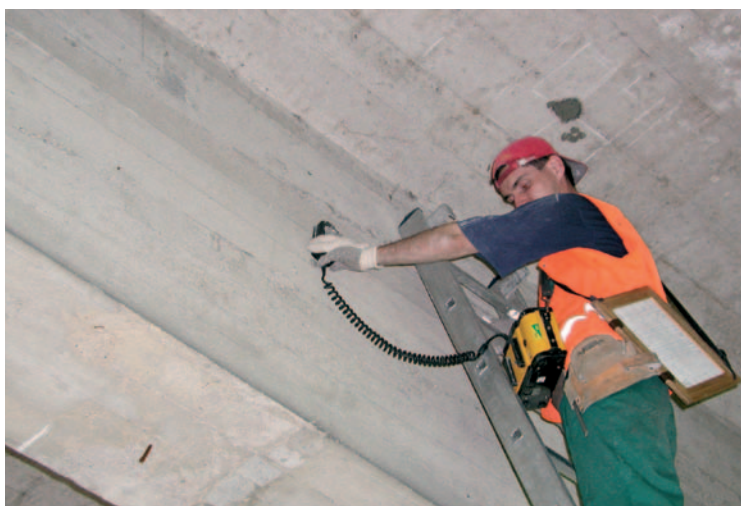
TARCOPOL – TPM Consulting

Literatura

- 1 PN-EN 206-1:2003, *Beton – Część 1: Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność*
- 2 PN-S-10040:1999: *Obiekty mostowe – Konstrukcje betonowe, żelbetowe i sprężone. Wymagania i badania*
- 3 PN-EN 12504: Część 2: *Badania betonu w konstrukcjach – Badania nieniszczące. Oznaczanie liczby odbicia*
- 4 Moczek A.: *Diagnostyka konstrukcji betonowych – „pull-off”*. *Polski Cement*, 2002, nr 3 (19), str. 44-46

Fot. 6. „Rainbow-Test” wykonany na powierzchni odwiertu (kolor granatowy – pH 13)

Fot. 7. „Cover-Master” w czasie pomiaru



fot. Archiwum