

# Diagnostyka konstrukcji betonowych – „pull-off”

Jedną z oznak otwarcia się polskiego budownictwa betonowego na najnowsze osiągnięcia światowej myśli technicznej jest pojawienie się na naszym rynku nowych materiałów o własnościach nie mających odpowiedników w przeszłości. Należą do nich współczesne środki do napraw i ochrony powierzchniowego betonu.

Wszechobecność i popularność tych materiałów, mimo że są one relatywnie drogie, wynika w pierwszym rzędzie z faktu, iż odpowiadają one na ogromne zapotrzebowanie polskiego rynku na rozwiązania technologiczne, umożliwiające realizację szerokiego zakresu remontów i napraw „starych” konstrukcji betonowych, których aktualny stan techniczny jest zły ze względu na błędy popełnione w przeszłości – tak w fazie wznoszenia tych konstrukcji, jak i w okresie ich późniejszej eksploatacji. Uwaga ta odnosi się w szczególności do konstrukcji mostowych, z natury rzeczy szczególnie narażonych na niekorzystne wpływy środowiska



Fot. 1. Most przez Dunajec w miejscowości Zgłobice (zacieki i wykwyty na powierzchni bocznej belki skrajnej)



Fot. 2. Most przez Wkrę w miejscowości Pomiechówek (zbyt mała otulina, widoczne ogniska korozyjne i korozja strzemion)

zewnętrznego (rys. 1, 2). Większość z nich wymaga jeśli nie pilnego remontu, to co najmniej zabezpieczenia, umożliwiającego dalszą bezpieczną eksploatację.

Brak dbałości o zapewnienie konstrukcji betonowej należytej trwałości prowadzi w krótkim czasie do jej degradacji. Spośród wielu uwarunkowań tego procesu zasadniczy wpływ na jego przebieg mają takie czynniki jak:

- zbyt mała grubość betonowej otuliny prętów zbrojeniowych
- nieszczelności izolacji, błędne odwodnienie oraz występowanie przecieków w rejonie dylatacji ustroju niosącego, będące zawsze potencjalnym zagrożeniem dla trwałości obiektu
- zaawansowany proces karbonatyzacji przypowierzchniowych warstw betonu, grozący utratą przez beton zdolności pasywacyjnych w stosunku do stali zbrojeniowej
- znaczne stężenie jonów  $Cl^-$ , będące wynikiem stosowania środków zimowego utrzymania dróg, a stanowiące główne zagrożenie korozyjne zbrojenia
- obecność siarczanów, bezpośrednio wpływająca na rozwój procesów korozyjnych samego betonu.

Pojawienie się na rynku współczesnych materiałów naprawczych, takich jak np. materiały typu PCC, czyli betony i zaprawy z dodatkami polimerów (Polimer Cement Concrete), umożliwiło dynamiczny rozwój nowoczesnych technologii naprawy i zabezpieczenia powierzchniowego obiektów betonowych. Technologie te znalazły szerokie zastosowanie zarówno w budownictwie mostowym, jak i przemysłowym (naprawy chłodni kominowych, silosów, oczyszczalni ścieków, zbiorników, kanałów kanalizacyjnych itp.). Ich zasadniczym atutem jest możliwość szybkiego i efektywnego zabezpieczenia zagrożonych konstrukcji przed dalszą degradacją.

Problematyka ta ma bogatą literaturę. Niemniej jednak na szczególną uwagę zasługuje wydana ostatnio staraniem wydawnictwa Polski Cement wyczerpująca monografia z tego zakresu, autorstwa Lecha Czarneckiego i Petera Emmons [1]. Pojawienie się na rynku budowlanym nowej generacji materiałów i systemów naprawczych, bazujących na zaawansowanych technologiach, wymusza stosowanie nowoczesnych technik diagnostycznych, umożliwiających bezpośrednio na obiekcie („in-situ”) kontrolę prawidłowości przestrzegania stosownych reżimów technologicznych, warunkujących efektywne wykorzystanie tego rodzaju materiałów. Podstawowe wymagania z tego zakresu sprowadzają się do:

- konieczności oceny przypowierzchniowej wytrzymałości podłoża betonowego na rozciąganie (tzw. wytrzymałości betonu na odrywanie) warunkującej możliwość wykonania na nim napraw powierzchniowych
- zapewnienia możliwości dokonania oceny jakości wykonania wszelkiego rodzaju napraw powierzchniowych, a w szczególności określenia stopnia spełnienia wymagań odnośnie przyczepności świeżo wykonanych warstw naprawczych i powłok ochronnych do remontowanego podłoża betonowego
- zapewnienia możliwości dokonania oceny przyczepności poszczególnych warstw w istniejących wielowarstwowych konstrukcjach betonowych, na przykład dla dokonania oceny przyczepności istniejącego torkretu do powierzchni konstrukcji betonowej lub oceny przyczepności istniejącego tynku lub innego typu wyprawy do podłoża betonowego.

## Opis ogólny metody

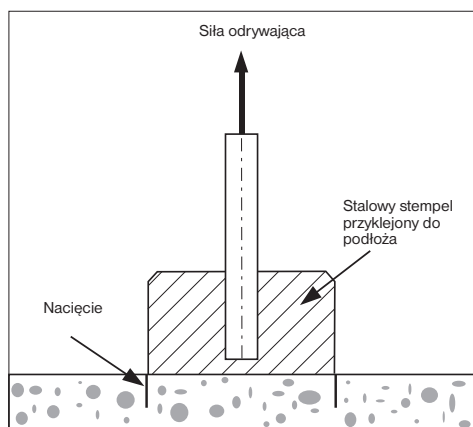
Metodą spełniającą te oczekiwania jest tzw. metoda pull-off, znana także pod nazwą BOND-Test [2,3]. Najogólniej rzecz

biorąc istotą metody, przedstawiona na rysunku nr 1, sprowadza się do pomiaru siły odrywającej przyklejony do badanej powierzchni metalowy krążek o znanej powierzchni. Wokół krążka wykonuje się centryczne nacięcie. Rejestrowana wartość siły odrywającej, podzielona przez powierzchnię, na którą przekazywane jest obciążenie, daje w efekcie wartość wytrzymałości betonu na rozciąganie. Wytrzymałość ta jest często nazywana też wytrzymałością betonu na odrywanie. Wiarygodność uzyskiwanych wyników istotnie zależy od zapewnienia w czasie pomiaru równomiernego przyrostu siły odrywającej oraz prostopadłości jej działania w stosunku do badanej powierzchni.

Z nieco innym przypadkiem mamy do czynienia w sytuacji, gdy pomiar dotyczy nie samej wytrzymałości betonu na rozciąganie, a oceny wytrzymałości połączenia podłoże betonowe – materiał naprawczy (rys. 2). W takim przypadku nacięcie wokół przyklejonego krążka winno być wykonane na głębokość poniżej badanego styku.

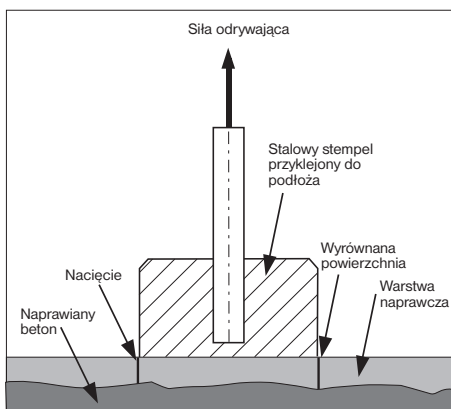
Badania wytrzymałości betonu na odrywanie można realizować za pomocą dowolnego urządzenia, spełniającego wymagania metody „pull-off”. Spośród aktualnie dostępnych na rynku urządzeń tego typu, na uwagę zasługują:

- zestaw pomiarowy o nazwie BOND-Test, oferowany przez duńską firmę Germann Instruments (fot. 3)



Rys. 1. Istota metody „pull-off”

- urządzenie o nazwie Dyna, produkowane przez szwajcarską firmę Proceq
  - urządzenie pomiarowe szwajcarskiej firmy Erichsen.
- Wszystkie te urządzenia działają na podobnej zasadzie. Różnice sprowadzają się w zasadzie do trzech kwestii:
- średnicy metalowych stempli, wykorzystywanych w badaniach:
    - wszystkie trzy urządzenia są dostosowane do odrywania stempli o średnicy 50 mm
    - Bond-Test jest dodatkowo przystosowany do odrywania stempli o średnicy 75 mm



Rys. 2. Istota metody „pull-off” w przypadku kontroli wykonania warstwy naprawczej

- sposobu realizacji obciążenia:
  - Dyna i Erichsen są urządzeniami mechanicznymi
  - BOND-Test wykorzystuje siłowniki hydrauliczne, analogiczne do stosowanych w metodzie Lok-Test i Ca-po-Test
- sposobu przekazania obciążenia na badaną powierzchnię betonu:
  - Dyna i Erichsen przekazują obciążenie trójpunktowo za pośrednictwem trzech nógk wsporczych
  - BOND-Test przekazuje obciążenie w sposób równomierny rozłożony za pośrednictwem centrycznego pierścienia oporowego (fot. 4).



Fot. 3. Urządzenie o nazwie BOND-Test

### Warunki techniczne pomiarów

Zgodnie z opracowanymi we współpracy pomiędzy Instytutem Budownictwa Politechniki Wrocławskiej i Instytutem Badawczym Dróg i Mostów zaleceniami Generalnej Dyrekcji Dróg Publicznych w Warszawie, odnośnie zasad stosowania współczesnych metod nieniszczących do diagnostyki obiektów mostowych „in-situ” [4, 5], przy realizacji pomiarów metodą „pull-off” należy kierować się następującymi wytycznymi.

Jako minimalną, dla danego miejsca pomiarowego, liczbę oznaczeń wytrzymałości betonu na odrywanie należy przyjąć:

- w przypadku obiektu nowo budowanego – jeden pomiar na każde 50 m<sup>2</sup> badanej powierzchni
- w przypadku remontu obiektu istniejącego – jeden pomiar na każde 25 m<sup>2</sup> badanej powierzchni.

W każdym przypadku sumaryczna liczba punktów pomiarowych nie może być mniejsza od 5 dla badanego elementu. W czasie badań należy zwrócić uwagę na zapewnienie równomiernego rozmieszczenia poszczególnych punktów pomiarowych na badanej powierzchni.

Dla zapewnienia prawidłowego przebiegu pomiarów należy przestrzegać następujących zaleceń:

- w miejscu przewidzianym do badań należy dokładnie wyrównać powierzchnię betonu
  - należy oczyścić miejsce badania z kurzu i pyłu
  - na tak przygotowaną powierzchnię przykleja się, szybkoschnącym klejem, stalowy krążek o średnicy 50 lub 75 mm
  - wokół przyklejonego krążka należy za pomocą ręcznej wiertarki nawiercić koronką diamentową rowek na żądaną głębokość (fot. 5); w przypadku badania podłoża betonowego głębokość tę przyjmuje się na poziomie co najmniej 5-10 mm poniżej badanej powierzchni [6], natomiast w przypadku badania wytrzymałości połączenia podłoże betonowe – materiał naprawczy zaleca się, aby głębokość ta nie była mniejsza od 25 mm lub od połowy średnicy krążka [7]
  - tak przygotowany krążek pomiarowy jest odrywany od podłoża za pośrednictwem siłownika (fot. 3), a przyrost obciążenia powinien być realizowany z niewielką, stałą prędkością.
- Dodatkowo należy zwrócić szczególną uwagę na sposób wykonania tego rodzaju nacięcia betonu:
- zaleca się nawiercanie betonu na mokro, aby maksymalnie ograniczyć wywołany wierceniem proces mikropęknięcia betonu wokół krążka pomiarowego; w takim przypadku stempel powinien być koniecznie przyklejony do badanego podłoża przed nawiercaniem
  - nawiercanie betonu winno bezpośrednio poprzedzać sam proces pomiaru (różnica czasu nie powinna być w przypadku wiercenia na mokro większa niż 60 minut)
  - w przypadku wiercenia na sucho różnica czasu nie powinna być większa niż 30 minut.

Sam odczyt wartości siły odrywającej krążek pomiarowy od podłoża może być dokonywany automatycznie (siłownik z elektronicznym rejestratorem) lub bezpośrednio ze skali zegarowej (siłownik standardowy).

Po wykonaniu pomiaru, miejscowe uszkodzenia powierzchni betonu należy naprawić za pomocą odpowiednich niskoskurczowych zapraw naprawczych, zachowując stosowne wymagania

technologiczne odnośnie ich stosowania. W czasie prac należy także dążyć do odtworzenia, w miejscu wykonywania naprawy, charakteru istniejącej faktury i koloru betonu.

#### Zasady interpretacji wyników badań

Metoda „pull-off” jest usankcjonowana w przepisach normowych szeregu państw, a ostatnio doczekała się także aktu normalizacyjnego o charakterze ogólnoeuropejskim (EN 1542: 1999) [8]. W Polsce norma ta

została przyjęta rok później na zasadzie identyczności w postaci polskiej normy PN-EN 1542: 2000 [9]. Niezależnie od roku 1992 obowiązuje w Polsce norma PN-B-01814: 1992 [10], która reguluje kwestie badania przyczepności powłok ochronnych do podłoża betonowego. Na

bazie tej normy Instytut Badawczy Dróg i Mostów opracował na zlecenie Generalnej Dyrekcji Dróg Publicznych szczegółowe zalecenia odnośnie wykonywania oraz odbioru napraw i ochrony powierzchniowej betonu w konstrukcjach mostowych [11]. Zalecenia te stanowią wyczerpujące kompendium wymagań i procedur badawczych, wymaganych przy realizacji robót remontowych przy wykorzystaniu współczesnych materiałów i systemów do napraw powierzchniowych betonu w konstrukcjach mostowych. Obejmują one zarówno wymagania, dotyczące oceny jakości przygotowania samego podłoża betonowego, jak i zasad kontroli jakości wykonania wszelkiego rodzaju napraw powierzchniowych betonu. Zgodnie z tymi zaleceniami przyjmuje się, że możliwość wykonania tego rodzaju robót uwarunkowana jest spełnieniem następujących wymagań:

- średnia wytrzymałość betonu na ściskanie winna być nie niższa niż 25 MPa

- średnia wartość wytrzymałości na odrywanie, określona w danym miejscu pomiarowym dla wszystkich wykonanych pomiarów (minimum 5 wyników) winna być nie niższa niż 1,5 MPa, a minimalna wartość pojedynczego pomiaru powinna wynosić nie mniej niż 1,0 MPa

- dany wynik pomiaru wytrzymałości na odrywanie uznaje się za wiarygodny, jeżeli przełom przebiega w betonie, tak jak to dla ilustracji pokazano na fotografii nr 6

- w przypadku jeżeli wartość pojedynczego pomiaru jest niższa niż

1,0 MPa, należy obok wykonać dodatkowy pomiar; jeśli wynik tego dodatkowego pomiaru spełni warunek minimalnej wytrzymałości na odrywanie ( $\geq 1,0$  MPa) i równocześnie średnia wartość tej wytrzymałości, wyznaczona dla wszystkich pomiarów wykonanych w danym miejscu pomiarowym, nie będzie niższa niż 1,5 MPa, to można uznać, że warunek wytrzymałości na odrywanie został spełniony.

Kwestia ścisłego przestrzegania powyższych wymagań jest niezwyklej wagi, jako że konsekwencje ich lekceważenia mogą być niezwykle dolegliwe i to zarówno w sensie technicznym, jak i finansowym. Najdroższe i najlepsze materiały naprawcze mogą bowiem stać się bezwartościowe i nieskuteczne w sytuacji, gdy zostaną niewłaściwie zastosowane. Uwaga ta dotyczy w szczególności beztroskiego stosowania systemów naprawczych typu PCC na niewłaściwie przygotowanych podłożach betonowych. Należy tu także zaznaczyć, że w szeregu przypadków rzeczywiste parametry mechaniczne betonu, w szczególności zbyt mała wytrzymałość na odrywanie, wykluczają możliwość zastosowania tego rodzaju wysoko wytrzymałych materiałów do napraw konstrukcji betonowych.

**dr inż. Andrzej Moczko**  
**Instytut Budownictwa**  
**Politechniki Wrocławskiej**

#### Literatura

- [1] Lech Czarnecki, Peter H. Emmons, Naprawa i Ochrona Konstrukcji Betonowych, Wydawnictwo: Polski Cement, Kraków 2002
- [2] Long, A. E., Murray, A. McC., The pull-off partially destructive test for concrete, Spec. Publ. SP 82-17, American Concrete Institute, Detroit 1984, str. 327-350
- [3] Cleland, D. J., In-situ methods for assessing the quality of concrete repairs, Proc. ICE, Structures & Buildings, vol. 99, Feb. 1993, str. 68-70
- [4] Moczko A., Rajski O., Tłustochowski J., Wodyński R., Wysokowski A.: Zalecenia Generalnej Dyrekcji Dróg Publicznych, dotyczące oceny jakości betonu „in-situ” w nowo budowanych konstrukcjach obiektów mostowych, Instytut Badawczy Dróg i Mostów, Wrocław-Żmigród 1998
- [5] Moczko A., Rajski O., Tłustochowski J., Wysokowski A.: Zalecenia Generalnej Dyrekcji Dróg Publicznych, dotyczące oceny jakości betonu „in-situ” w istniejących konstrukcjach obiektów mostowych, Instytut Badawczy Dróg i Mostów, Wrocław-Żmigród 1998
- [6] Bungey, J. H., Madandoust, R., Factors influencing pull-off tests on concrete, Magazine of Concrete Research, vol. 44, No 158, March 1992, str. 21-30
- [7] Vaysburd A. M., McDonald J. E., An evaluation of equipment and procedures for tensile bond testing of concrete repairs Technical Report REMR-CS-61, June 1999, str. 43-59
- [8] EN 1542: 1999, European Standard, Products and systems for the protection and repair of concrete structures – Test methods – Measurements of bond strength by pull-off
- [9] PN-EN 1542: 2000, Wyroby i systemy do ochrony i napraw konstrukcji betonowych – Metody badań. Oznaczanie przyczepności konstrukcyjnych środków wiążących do stosowania na powierzchniach betonowych
- [10] PN-B-01814: 1992, Antykorozyjne zabezpieczenia w budownictwie. Konstrukcje betonowe i żelbetowe. Metoda badania przyczepności powłok ochronnych
- [11] Rowińska W., Wodyński R., Wysokowski A., Żurawicka A.: Zalecenia Generalnej Dyrekcji Dróg Publicznych, dotyczące wykonywania oraz odbioru napraw i ochrony powierzchniowej betonu w konstrukcjach mostowych, Instytut Badawczy Dróg i Mostów, Wrocław-Żmigród 1998



Fot. 4. Widok pierścienia do-diskowego zapewniającego równomierny rozkład naprężeń w czasie pomiaru



Fot. 5. Widok sposobu wykonania nacięcia wokół przyklejonego krążka metalowego



Fot. 6. Widok prawidłowego przełomu betonu w miejscu pomiaru jego wytrzymałości na odrywanie