

**W ostatnich latach obserwuje się w polskim przemyśle budowlanym dynamiczny rozwój budownictwa betonowego, w szczególności monolitycznego. Rozwój ten jest zarówno naturalną konsekwencją widocznego postępu w technologii materiałów wiążących, owocującego wyraźnym podniesieniem ich jakości, jak i wynikiem znaczącego wzrostu potencjału polskiego przemysłu cementowego.**

Sytuacja ta wywołała z jednej strony ponowny wzrost zainteresowania środowiska budowlanego nieniszczącymi metodami kontroli jakości betonu w czasie wznoszenia konstrukcji, z drugiej zaś potrzebę poszukiwania nowych sposobów diagnostyki istniejących obiektów. Zjawisko to szczególnie jaskrawo występuje w budownictwie komunikacyjnym, gdzie możliwość szybkiego uzyskiwania informacji bezpośrednio na miejscu budowy ma już nie tylko istotne znaczenie z technicznego punktu widzenia, ale coraz częściej ma także bardzo konkretny wymiar ekonomiczny. Niejednokrotnie w praktyce inżynierskiej zasadniczym celem prowadzonych badań jest dążenie do znacznego obniżenia kosztów inwestycji. Zagadnienie to nabiera dodatkowo znaczenia w kontekście bliskiej już perspektywy wejścia Polski do Unii Europejskiej, co wiąże się z potrzebą dostosowania obowiązujących u nas warunków kontroli jakości betonu do europejskich standardów w tym zakresie.

Niejąko równolegle, w ostatnich latach nastąpił dynamiczny rozwój prac badawczych, które stworzyły podstawy do opracowania nowych technik nieniszczącej diagnostyki konstrukcji budowlanych. 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 coraz częściej do dyspozycji szeroki wachlarz aparatury diagnostycznej (fot. 1), która jest wyrazem praktycznego wykorzystania najnowszych osiągnięć myśli technicznej z tego zakresu. Do szczególnie interesujących nowych rozwiązań technicznych tego typu można między

## Współczesne metody nieniszczącej diagnostyki konstrukcji betonowych



Fot. 1. Przykładowy zestaw aparatury do nieniszczącej diagnostyki konstrukcji betonowych

innymi zaliczyć:

- quasi-nieniszczącą kontrolę wytrzymałości betonu na ściskanie metodą „pull-out”
  - metodę oceny stopnia zaawansowania procesu karbonatyzacji warstwy przypowierzchniowej betonu za pomocą „Rainbow-Testu”
  - metodę oceny „in-situ” zawartości i rozkładu chlorków w przekroju betonowym za pomocą „Rapid Chloride Testu”
  - ocenę wodoszczelności betonu metodą GWT
- oraz:
- nieniszczącą metodę defektoskopii konstrukcji betonowych przy wykorzystaniu metody „Impact-Echa”.

### Ocena wytrzymałości betonu na ściskanie metodą „pull-out”

Określenie „pull-out” jest ogólną nazwą grupy metod badawczych, których istota polega na pomiarze wartości siły niezbędnej do wyrwania z betonu stalowej kotwy, której kształt jest zróżnicowany w zależności od przyjętego rozwiązania technicznego. Kotew tego typu może być osadzana w świeżym betonie w momencie betonowania (pomiar w trybie Lok-Test) lub osadzana w betonie stwardniałym w specjalnie do tego celu nawierczanych otworach (pomiar w trybie CAPO-Test). Znajomość siły wrywającej kotew pozwala w prosty sposób na określenie skorelowanej z nią wytrzymałości betonu na ściskanie. Obciążenie jest przekazywane za pośrednictwem specjalnie do tego celu zaprojektowanego

siłownika hydraulicznego (fot.2). Zastosowanie metody „pull-out” na obiekcie może zastąpić badania wytrzymałości betonu na ściskanie wykonywane w laboratorium na próbkach betonu, pobieranych w trakcie betonowania lub uzyskiwanych z odwiertów kontrolnych.

W przypadku obiektów nowo budowanych metoda „pull-out” jest szczególnie użyteczna:

- w czasie odbioru wykonanych na budowie elementów konstrukcyjnych
- w czasie bieżącej kontroli przyrostu wytrzymałości wbudowanego betonu
- w przypadku realizacji obiektów sprężanych na miejscu budowy, dla których niezbędna jest znajomość rzeczywistego poziomu wytrzymałości betonu w konstrukcji przed przekazaniem na beton sił sprężających
- w czasie realizacji obiektów o dużych wysokościach, dla których bardzo istotne jest upewnienie się o osiągnięciu przez beton wymaganej projektem wytrzymałości na ściskanie przed podjęciem decyzji o rozpoczęciu betonowania kolejnego, wyższego poziomu
- w przypadku realizacji obiektów betonowych we wszelkiego rodzaju przestawnych deskowaniach, dla których zarówno z technicznego, jak i ekonomicznego punktu widzenia istotne jest podejmowanie optymalnej decyzji odnośnie terminu rozdeskowania zabetonowanej części konstrukcji i umożliwienie tym samym ponownego efektywnego wykorzystania posiadanych lub wynajmowanych deskowań i podpór, przy zachowaniu niezbędnego poziomu bezpieczeństwa.

Natomiast w badaniach obiektów ist-



Fot. 2. Pomiar wytrzymałości betonu na ściskanie metodą „pull-out”



Fot. 3. Przykład zastosowania „Rainbow-Testu” do oceny stopnia karbonatyzacji przekroju betonowego

niejących metoda ta jest najczęściej wykorzystywana:

- w przypadku realizacji badań, mających na celu określenie aktualnego stanu technicznego obiektu w związku z planowanym jego remontem
- w przypadku konieczności dokonania oceny bezpieczeństwa konstrukcji w związku z zagrożeniem awarią
- w czasie okresowej kontroli stanu technicznego obiektu, którego jakość betonu budzi wątpliwości, bądź też brak jest informacji na ten temat
- w przypadku braku technicznych możliwości wykonania kontrolnych odwiertów.

### Ocena rozkładu pH w przekroju betonowym za pomocą „Rainbow-Testu”

Najczęściej stosowany sposób oceny zasięgu skarbonatyzowania przypowierzchniowej warstwy betonu polega na spryskiwaniu powierzchni świeżego przetłumakowanego alkoholowym roztworem fenoloftaleiny bądź tymoloftaleiny.

W przypadku fenoloftaleiny zmiana koloru z bezbarwnego na czerwony następuje przy pH równym 8,5+ 9,5. Natomiast w przypadku testu tymoloftaleinowego zmiana barwy wskaźnika z bezbarwnego na niebieski następuje przy pH równym 9,3+ 10,5. Niedoskonałość obu tych testów polega na tym, że są one „wrażliwe”, jedynie na wybrane wartości pH, umożliwiając co prawda określenie grubości skarbonatyzowanej warstwy betonu, niemniej jednak bez możliwości oceny rozkładu tego parametru w badanym przekroju. Dlatego też współczesne tendencje rozwoju tego typu badań idą w kierunku opracowania takiej kompozycji odczynników chemicznych, aby była możliwa identyfikacja rozkładu wartości pH po głębokości badanego przekroju betonowego. Jedną z tego rodzaju propozycji jest tzw. Rainbow-Test (Test Tęczowy – fot. 3).

Metoda ta polega na określeniu przebie-

gu zmian wartości pH w przekroju badanego elementu na podstawie oceny rozkładu barw na jego powierzchni. Do tego celu najczęściej wykorzystywane są powierzchnie boczne odwiertów, wykonanych np. dla potrzeb Capo-Testu. Sam pomiar sprządza się do wykonania aerozolu natrysku badanej powierzchni betonu roztworem specjalnie dobranej kompozycji odczynników chemicznych, identyfikujących poszczególne wartości pH w zakresie od 5 do 13. Odczyn pH równy 11, uznawany powszechnie za wartość graniczną, poniżej której obniża się naturalna zdolność betonu do pasywacji zbrojenia, odpowiada zabarwieniu betonu na fioletowo. Przejście palety barw z koloru fioletowego na zielony (pH=9) sygnalizuje spadek pH poniżej wartości uznawanej za graniczną i potencjalne zagrożenie korozyjne zbrojenia.

### Ocena zawartości i rozkładu chlorków w przekroju betonowym

Obecność jonów Cl<sup>-</sup> w betonie jest potencjalnym zagrożeniem dla jego trwałości, jako że przy równoczesnym dostępie tlenu i wody stwarza warunki dla rozwoju niebezpiecznego rodzaju korozji, stanowiącego bezpośrednie zagrożenie dla stali zbrojeniowej. Chlorki znajdujące się w konstrukcji istotnie obniżają także jej mrozoodporność. Mogą się one znajdować w świeżym betonie od początku, pochodząc z wody zarobowej, kruszywa lub różnego rodzaju dodatków, bądź też przenikając do niego z otaczającego środowiska. Szczególnym zagrożeniem dla trwałości konstrukcji inżynierskich jest sól, wykorzystywana do zimowego utrzymania dróg. Ponieważ usunięcie chlorków z istniejącej konstrukcji jest zabiegiem trudnym technicznie i bardzo kosztownym, szczególnego znaczenia nabierają techniki diagnostyczne, które pozwalają na szybkie, nieniszczące i wykonywane bezpośrednio na badanym obiekcie określenie stopnia występującego zagrożenia. Uwaga ta dotyczy nie tylko określenia globalnej (w ujęciu procentowym) zawartości chlorków w badanym przekroju betonowym, ale także oceny rozkładu ich zawartości w funkcji głębokości tego przekroju. Przykładem zesta-

wu pomiarowego, który spełnia te oceniające jest Rapid Chloride Test (fot. 4). Istota metody polega w tym przypadku na przeprowadzeniu bezpośrednio na obiekcie ekstrakcji chemicznej pobranego z badanego elementu pyłu betonowego, za pomocą specjalnie do tego celu opracowanego zestawu odczynników. Ze względu na zakres występujących zagrożeń korozją chlorkową, metoda RCT jest przede wszystkim wykorzystywana w diagnostyce konstrukcji drogowych i mostowych, a w szczególności w przypadku:

- oceny bezpieczeństwa dalszego użytkowania obiektu
- okresowej kontroli stanu technicznego obiektu
- potencjalnego zagrożenia korozyjnego stali zbrojeniowej, bądź cięgien sprężających
- kontroli skuteczności prac remontowych, związanych z usuwaniem chlorków z konstrukcji.

### Ocena wodoszczelności betonu metodą GWT

Jednym z podstawowych parametrów oceny jakości betonu oraz jego przewidywanej trwałości jest stopień wodoszczelności, określający odporność struktury materiału na penetrację wody. Obowiązujące aktualnie przepisy normowe określają sposób badania oraz precyzują stosowne wymagania, odnośnie oceny stopnia wodoszczelności betonu, badanego w warunkach laboratoryjnych. Praktyka wykazała, że istnieje potrzeba wdrożenia prostej procedury, pozwalającej na dokonanie bezpośrednio na obiekcie oceny jakości betonu w tym zakresie. Jedną z proponowanych metod badawczych jest metoda o nazwie GWT (Germann's Water permeation Test – fot. 5).

Istota metody GWT polega na poddaniu badanej powierzchni wymuszonemu działaniu założonego ciśnienia wody, która wypełnia specjalnie skonstruowaną do tego celu komorę ciśnieniową. Ubytek ilości wody, wnিকającej w badaną powierzchnię, jest kontrolowany za pomocą śruby mikrometrycznej, która pozwala na utrzymanie stałej, wybranej



Fot. 4. Widok zestawu RCT



Fot. 5. Widok pomiaru wodoszczelności betonu za pomocą komory ciśnieniowej GWT

uprzednio, wartości ciśnienia. Po określonym czasie (np. 5-10 min) oddziaływania na powierzchnię betonu stałej, uprzednio założonej wartości ciśnienia wody, dokonywany jest odczyt ze śruby mikrometrycznej, który w połączeniu ze znajomością czasu trwania badania pozwala na przeprowadzenie prostego przeliczenia, umożliwiającego dokonanie oceny wodoszczelności badanej powierzchni. W przypadku nowo budowanych konstrukcji metoda ta jest zalecana do stosowania:

- w czasie odbioru wszelkiego rodzaju obiektów, w stosunku do których stawiane są wymagania odnośnie wodoszczelności
- w czasie kontroli skuteczności wszelkiego rodzaju powłok zabezpieczających przed przenikaniem wody do betonu.

Natomiast w badaniach obiektów istniejących metoda GWT może być efektywnie wykorzystana w przypadku:

- konieczności określenia bezpośrednio na obiekcie rzeczywistej odporności przypowierzchniowej warstwy betonu na penetrację wody w kontekście jej ewentualnego uszczelnienia
- konieczności szacunkowego określenia wodoszczelności przypowierzchniowej warstwy betonu we wszelkiego rodzaju istniejących konstrukcjach betonowych
- konieczności dokonania oceny jakości wykonania wszelkiego rodzaju robót uszczelniających konstrukcje betonowe
- konieczności oceny skuteczności wszelkiego rodzaju powłok zabezpieczających.

### Metoda „IMPACT-ECHO”

Metoda „Impact-Echo” (fot. 6) jest nieniszczącą techniką diagnostyczną, która wykorzystuje w badaniach stwardniałego betonu zjawiska towarzyszące rozchodzeniu się fal sprężystych w ciele stałym. Istotą samej metody jest wykorzystanie zjawiska odbicia się impulsowo wzbudzonej fali sprężystej od wewnętrznych wad materiałowych oraz powierzchni rozdziału poszczegół-

nych warstw ośrodka, w tym także jego powierzchni zewnętrznej. Jej podstawową zaletą jest szeroki wachlarz możliwości badawczych, praktycznie niedostępnych w przypadku innych znanych technik diagnostycznych.

Do szczególnie użytecznych, z praktycznego punktu widzenia, zastosowań tej metody w badaniach istniejących konstrukcji betonowych należy w pierwszym rzędzie zaliczyć:

- możliwość wykrywania i lokalizacji wszelkiego rodzaju wewnętrznych wad w betonie, w tym wad spowodowanych niewłaściwym zagęszczeniem mieszanki betonowej we fragmentach konstrukcji o bardzo dużym nasyceniu zbrojeniem
- ocenę zagrożenia korozyjnego kabli sprężających, będącego konsekwencją niewłaściwej iniekcji ich ostoi
- szeroko rozumianą defektoskopię wszelkiego rodzaju przekrojów betonowych, w tym także przekrojów pierścieniowych
- wykrywanie wszelkiego rodzaju rozwarstwień wewnętrznych, np. przypadków utraty ciągłości niedostępnych z zewnątrz membran izolacyjnych
- ocenę głębokości rys powierzchniowych
- możliwość pomiaru grubości wszelkiego rodzaju elementów betonowych, dostępnych jednostronnie, w tym grubości konstrukcji wielowarstwowych (np. dokonanie oceny grubości istniejącej jezdni asfaltowej oraz leżącej pod nią płyty betonowej)
- możliwość bezpośredniej kontroli skuteczności wykonania iniekcji zarysowanych fragmentów istniejących konstrukcji betonowych.

Jak widać, metoda „Impact-Echo” otwiera szerokie możliwości diagnostyki użytkowanych obiektów budowlanych, w ramach wszelkiego rodzaju ekspertyz i orzeczeń, dotyczących oceny ich stanu technicznego. Może być ona także z powodzeniem wykorzystywana do kontroli jakości wykonania.



Fot. 6. Przykład wykorzystania metody „Impact-Echo” do nieniszczącego pomiaru grubości posadzki betonowej

nowo wznoszonych obiektów betonowych. W tym przypadku metoda „Impact-Echo” jest wykorzystywana w pierwszym rzędzie do:

- kontroli jakości wykonania iniekcji tras kabli sprężających
- oceny grubości wszelkiego rodzaju elementów betonowych, dostępnych jednostronnie
- kontroli jakości zagęszczenia betonu we fragmentach konstrukcji o bardzo dużym nasyceniu zbrojeniem, np. w węzłach konstrukcyjnych
- sprawdzenia jakości wykonania niedostępnych z zewnątrz membran izolacyjnych, np. kontroli ich ciągłości i przylegania do podłoża.

### Podsumowanie

Przedstawiony krótki przegląd wybranych współczesnych metod nieniszczącej oceny jakości betonu i diagnostyki konstrukcji betonowych wskazuje na szereg nowych możliwości badawczych, pozwalających na szybkie uzyskanie szeregu informacji, dotychczas praktycznie niedostępnych, a mających bardzo duże znaczenie tak z technicznego, jak i ekonomicznego punktu widzenia.

Wydaje się, że aktualnie w Polsce obserwuje się wzrastające zapotrzebowanie na tego rodzaju aparaturę. Niezbędna jest tu oczywiście szeroka akcja informacyjna i właściwa promocja tak samej aparatury, jak i wiedzy z tego zakresu. Konieczne jest również podjęcie działań mających na celu standaryzację tej problematyki w skali całego kraju. Na podkreślenie zasługuje tu między innymi opracowanie na zlecenie Generalnej Dyrekcji Dróg Publicznych „Zaleceń dotyczących stosowania współczesnych metod nieniszczących do diagnostyki obiektów mostowych”. Dokument ten, opracowany wspólnie przez Instytut Badawczy Dróg i Mostów (filia w Żmigrodzie) i Instytut Budownictwa Politechniki Wrocławskiej, jest pierwszym tego rodzaju kompleksowym opracowaniem wydanym w Polsce, mogącym stanowić podstawę do opracowania unormowań prawnych, wzorowanych na rozwiązaniach obowiązujących w krajach Unii Europejskiej. Przykładem mogą tu być zaawansowane prace nad opracowaniem polskiej wersji normy europejskiej EN 12504-3, dotyczącej oceny wytrzymałości betonu na ściskanie metodą „pull-out”.

dr inż. Andrzej Moczek  
Instytut Budownictwa  
Politechniki Wrocławskiej