

Ocena zagrożenia korozją zbrojenia konstrukcji żelbetowych

Cz. 1. – Badania właściwości ochronnych betonu

Prof. dr hab. inż. Adam Zybura, dr inż. Mariusz Jaśniok, dr inż. Tomasz Jaśniok,
Politechnika Śląska

1. Wprowadzenie

W poprzednich latach nie przywiązywano zbyt dużej wagi do niekorzystnego wpływu otoczenia na konstrukcje żelbetowe uważając je za trwałe przez cały okres użytkowania. Jednak w miarę upływu czasu ciągłe pogarszanie się stanu technicznego obiektów budowlanych zweryfikowało ten optymistyczny pogląd i uświadomiło niszczący wpływ środowiska. Niekorzystne zmiany są bowiem „zakodowane” już od początku wykonania konstrukcji z betonu, którego wysoko alkaliczny odczyn ($\text{pH} \approx 13,0$) sprzyja reakcjom chemicznym ze składnikami generalnie kwaśnego otoczenia ($\text{pH} < 7,0$), a porowata struktura umożliwia wnikanie agresywnych związków. Problem ten uwzględniają najnowsze przepisy projektowania zawarte w *Eurokodzie 2* [1] określające szereg wymagań dostosowanych do najczęściej występujących warunków środowiskowych. W celu zapewnienia właściwej trwałości budowli z betonu, *Eurokod 2* wyszczególnia nie tylko zalecenia związane z jakością materiałów, technologią wykonania, koncepcją i szczegółami konstrukcji, ale także wskazuje na duże znaczenie przeglądów technicznych w trakcie eksploatacji. Nieodłącznym elementem przeglądów jest diagnostyka określająca stan najbardziej narażonych na wpływy środowiska

zewnątrznego przypowierzchniowych stref betonu i stalowych prętów zbrojeniowych.

W pierwszej części pracy scharakteryzowano przyczyny i skutki oddziaływania środowiska na konstrukcje żelbetowe, a następnie omówiono metody badań właściwości ochronnych betonu. Badania te mają na celu określenie warunków, które wpływają na inicjację lub brak procesów korozyjnych stali zbrojeniowej chronionej otuleniem betonowym. Od badań właściwości ochronnych betonu rozpoczyna się kompleksowa diagnostyka korozyjna konstrukcji żelbetowych, schematycznie przedstawiona na rysunku 1.

Kolejnym etapem diagnostyki są elektrochemiczne badania stanu zbrojenia omówione w drugiej części pracy.

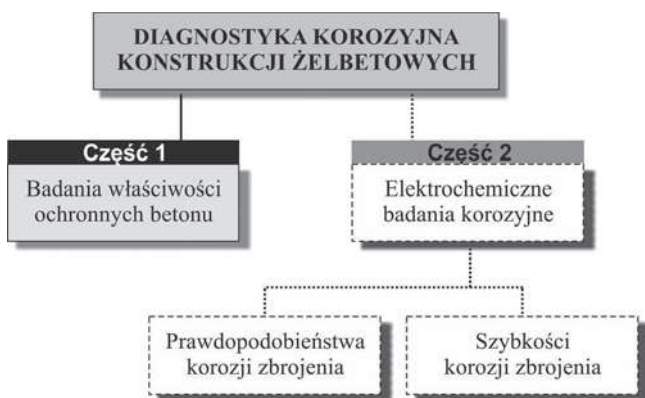
2. Wpływ środowiska na konstrukcje żelbetowe

Ujęte w *Eurokodzie 2* [1] warunki konstrukcyjne przypisują zasadniczą rolę ochronną otuleniu betonowemu, które stykając się bezpośrednio z otoczeniem jest najbardziej narażone na niekorzystne wpływy agresywnego środowiska. W miarę upływu czasu właściwości użytkowe konstrukcji ulegają obniżeniu osiągając w pewnym momencie poziom nieakceptowany ze względów eksploatacyjnych lub nawet estetycznych. Osiągnięcie takiego poziomu wymaga przeprowadzenia okresowej konserwacji powodującej odzyskanie zakładanych w projekcie cech budowli. Jednak zabiegi konserwacyjne nie mogą powodować nadmiernych kosztów użytkowania, których konieczność ponoszenia może oznaczać kres trwałości konstrukcji żelbetowej. Należy przypomnieć pogląd Prof. Z. Ścisłewskiego wyrażony między innymi w monografii [2], że założony okres użytkowania konstrukcji zależy od dwóch podstawowych czynników:

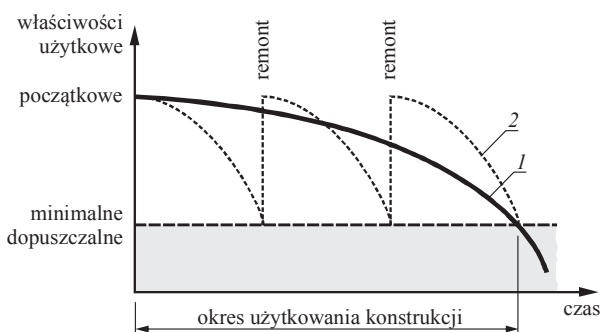
- zapewnienia wysokiej jakości podczas budowy,
- okresowo wykonywanych remontów w trakcie eksploatacji.

Wpływ tych czynników na czas użytkowania konstrukcji ilustruje rysunek 2.

Prawidłowe uwzględnienie wymienionych czynników ma wpływ na racjonalne zapewnienie trwałości kon-



Rys. 1. Klasyfikacja badań stosowanych w diagnostyce korozyjnej konstrukcji żelbetowych



Rys. 2. Zmiana właściwości użytkowych konstrukcji w czasie: 1 – przy zapewnieniu wysokiej początkowej jakości konstrukcji, 2 – gdy jakość jest niska i konieczne są okresowe remonty [3]

struktury. Zgodnie z doświadczeniami zagranicznymi koszty eksploatacji zależą od rodzaju uszkodzeń do jakich dopuszcza się w okresie użytkowania konstrukcji [2, 3]. Stwierdzono, że w miarę narastania uszkodzeń koszty napraw zwiększają się skokowo w postępie pięciokrotnym. Jeżeli w konstrukcji prawidłowo wykonanych z materiałów wysokiej jakości, w których nie wystąpi korozja zbrojenia w całym okresie użytkowania, koszty eksploatacji wynoszą jednostkę, to w przypadku przedwczesnej utraty ochronnych właściwości otuliny i zastosowania w porę uzupełniającego zabezpieczenia powierzchniowego, koszty użytkowania wzrastają 5 razy. Natomiast, gdy w trakcie eksploatacji dopuści się do lokalnej korozji zbrojenia i zachodzi konieczność naprawy konstrukcji, lub wykonywania uzupełniającego zabezpieczenia, koszty eksploatacji zwiększają się już 25 razy. Dopuszczenie do ogólnej korozji zbrojenia oraz konieczność remontu konstrukcji, lub wymiany jej fragmentów, powodują koszty użytkowania osiągające poziom aż 125 razy większy [2, 3].

Obecnie obowiązuje zasada, że w konstrukcjach żelbetowych przez cały czas użytkowania nie powinna wystąpić korozja zbrojenia. W wypadku środowiska zaliczanego według normy PN-EN 1992-1-1 [1] do klas ekspozycji XC, XD, XS i XF, ochronę zbrojenia zapew-

nia otulina z prawidłowo wykonanego betonu i o właściwej grubości. W środowisku agresywnym chemicznie (XA) może jeszcze zachodzić konieczność stosowania dodatkowych zabezpieczeń, np. izolacji ochronnych na powierzchni betonu.

Oddziaływanie środowiska zewnętrznego powoduje stopniową utratę właściwości ochronnych otuliny betonowej wobec zbrojenia. Obniżenie właściwości ochronnych może nastąpić w wyniku:

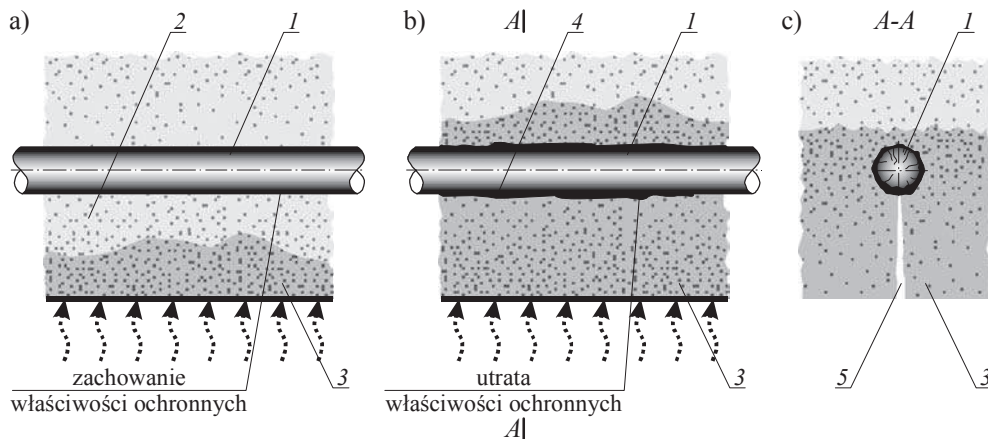
- zubożenia betonu na skutek migracji w strukturę porów kwaśnych gazów z powietrza, np. dwutlenkiem węgla,
- nasycenia betonu agresywnymi wobec stali substancjami pochodzącymi ze środowiska lub produktami powstającymi w wyniku reakcji tych substancji ze składnikami betonu, np. chlorkami.

Natomiast w trakcie eksploatacji konstrukcji nie powinno dojść do zniszczenia otuliny w wyniku korozji betonu i całkowitego jego rozkładu.

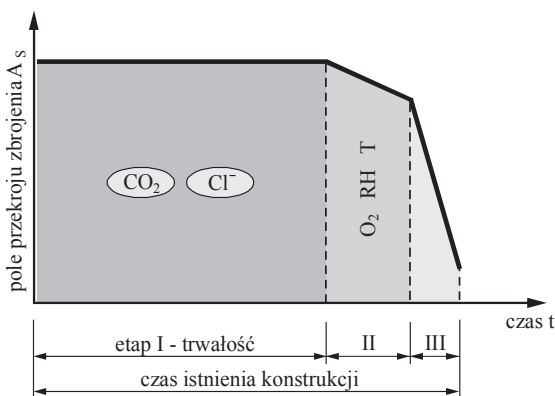
Najczęściej zbrojenie jest zagrożone korozją wskutek karbonatyzacji betonu lub działania chlorków. Te niekorzystne zjawiska zachodzą początkowo w brzegowych strefach betonu i nie wpływają na zmianę właściwości ochronnych przy powierzchni zbrojenia – rys. 3a.

Na skutek wnikania z otoczenia substancji agresywnych, strefa zubożonego lub nasyczonego chlorkami betonu powiększa się, powodując – po osiągnięciu krawędzi zbrojenia – jego korozję – rys. 3b. Zwiększająca objętość produkty korozji po upływie pewnego czasu doprowadzają do pęknięcia otuliny wzdłuż prętów zbrojeniowych – rys. 3c.

Przedstawiony na rysunku 3 schemat oddziaływania środowiska na żelbet można odnieść do wykresu charakteryzującego zmiany pola powierzchni przekroju poprzecznego zbrojenia chronionego otuliną betonową – rys. 4. Od wykonania konstrukcji do jej zniszczenia wyróżnia się trzy charakterystyczne etapy [2]. W pierwszym etapie następuje zubożenie betonu lub nasycenie go agresywnymi substancjami – rys. 3a. Pole powierzchni przekroju poprzecznego zbrojenia A_s zachowuje swoją nominalną wartość, nadaną w chwili wzniesienia konstrukcji. Zachowana jest także przyczepność zbrojenia do betonu nieuszkodzonego.



Rys. 3. Schemat oddziaływania środowiska na element żelbetowy: 1 – pręt zbrojeniowy, 2 – otulina, 3 – zubożona lub nasycona substancją agresywną strefa betonu, 4 – produkty korozji stali, 5 – ryśa podłużna



Rys. 4. Pole powierzchni przekroju poprzecznego zbrojenia w zależności od zaawansowania oddziaływania środowiska

Etap I procesu jest najdłuższy – może trwać przez wiele lat i zależy od szybkości zmian pH cieczy porowej oraz cech dyfuzyjnych substancji agresywnej w betonie. Z chwilą, gdy otulina utraci właściwości ochronne w stosunku do zbrojenia, rozpoczyna się drugi etap niszczenia (II), w którym zbrojenie zaczyna korodować – por. rys. 3b. Intensywność procesów w etapie II zależy od wilgotności RH powietrza wpływającej na przewodność elektryczną betonu i tym samym działanie makroogniw korozyjnych, dyfuzji tlenu O_2 z atmosfery, który jest potrzebny do przebiegu reakcji elektrodowych oraz od temperatury T. Powstające na powierzchni prętów produkty korozji zwiększają objętość i generują naprężenia w betonie, powodujące pęknięcie i w dalszej kolejności odpadanie otuliny. Zbrojenie zostaje odsłonięte, co charakteryzuje etap III niszczenia. Stalowe wkładki korodują bez otuliny, aż do osiągnięcia stanu granicznego nośności konstrukcji. Na skutek bezpośredniego dostępu do powierzchni zbrojenia substancji potencjałotwórczych,

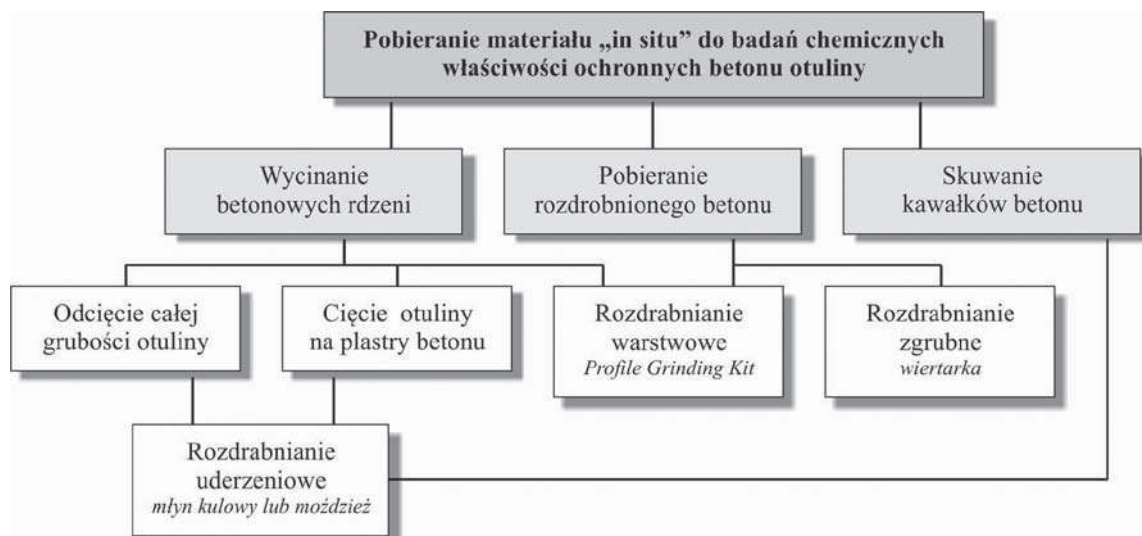
wilgoci i tlenu w trzecim etapie korozja rozwija się najszybciej. Chociaż w czasie istnienia budowli mogą występować wymienione trzy etapy wpływu środowiska, to jednak trwałość konstrukcji obejmuje tylko etap I, w którym wprawdzie dochodzi do przemian w betonie otulenia, lecz powierzchnia prętów zbrojeniowych nie jest zagrożona korozją.

3. Badania laboratoryjne zasięgu karbonatyzacji i stężenia chlorków

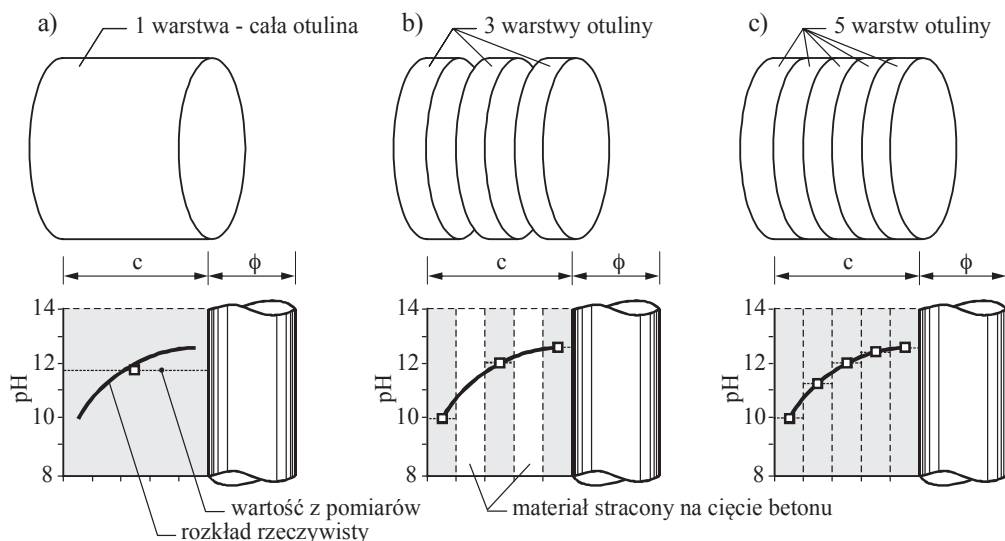
Pobieranie materiału

Materiał do badań pobiera się wycinając z konstrukcji próbki walcowe oraz rozdrabniając warstwowo beton otuliny. Możliwe jest także odkucie fragmentu betonu o niekontrolowanym kształcie. Schemat możliwości pobrania materiału do badań właściwości ochronnych betonu otuliny przedstawiono na rysunku 5.

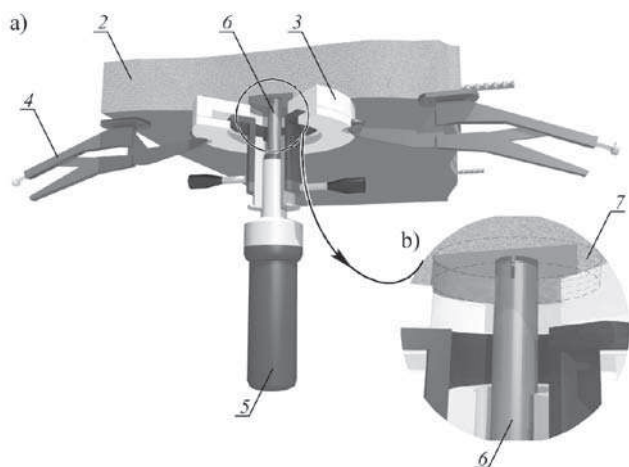
Miarodajną do badań właściwości ochronnych betonu częścią wyciętego z konstrukcji walca jest fragment obejmujący otulinę zbrojenia. Po odcięciu tego fragmentu od pozostałej części próbki (stasowanej dalej do badań wytrzymałościowych) uzyskany krążek można rozkruszyć w maszynie wytrzymałościowej. Następnie nieregularne kawałki betonu umieszcza się w młynie kulowym rozdrabniając je do średnicy ziaren nie większej niż 0,2 mm. Tym sposobem otrzymany „proszek betonowy” będzie charakteryzował uśrednione właściwości chemiczne całej grubości otulenia, co umożliwi jedynie zgrubne oszacowanie zawartości badanych składników agresywnych w betonie. Mankamentem jest brak informacji o rozkładzie koncentracji danego czynnika w kierunku grubości otulenia umożliwiającym ustalenie stężenia w bezpośrednim sąsiedztwie zbrojenia – rys. 6a. Lepszym rozwiązaniem jest podział części próbki walcowej obejmującej grubość otulenia na drobniejsze krążki. Każdy krążek odpowiada warstwie betonu za-



Rys. 5. Schemat możliwości pobierania betonu do badań właściwości ochronnych betonu otuliny



Rys. 6. Sposoby przygotowania do badań warstwy otulenia betonowego i wynikające z tego konsekwencje na wykresach profili stężeń badanego czynnika

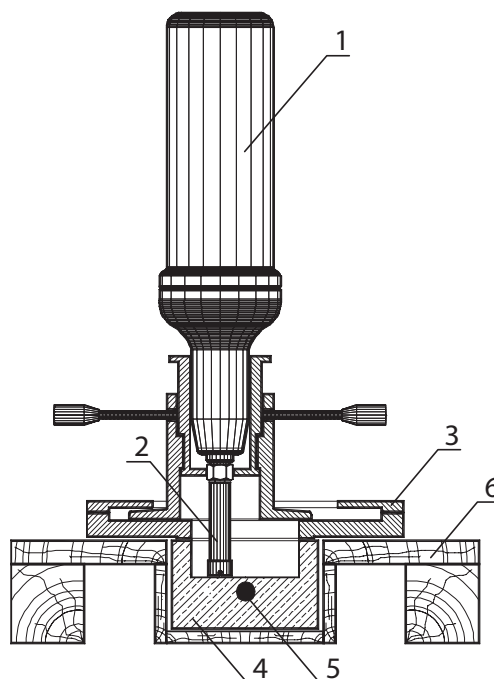


Rys. 7. Specjalistyczna ściernica Profile Grinding Kit do warstwowego pobierania betonu: a) widok urządzenia na płycie żelbetowej, b) widok w przekroju głowicy ścierniczej – opis w tekście

wierającej substancje o zróżnicowanym stężeniu. Cięcie próbki walcowej na krążki wykonuje się tarczami, których grubość wynosi najczęściej 2÷5 mm. Kilkumilimetrowa grubość tarczy tnącej wpływa niekorzystnie na liczbę i grubość wycinanych krążków, utrudniając odwzorowanie rozkładu stężenia – rys. 6b.

Pobieranie rozdrobnionego betonu bezpośrednio z konstrukcji można realizować sposobem zgrubnym lub precyzyjnym. Sposób zgrubny polega na wykonaniu wiertłem o dużej średnicy (np. ϕ 25, ϕ 30 mm) otworu o ustalonej głębokości, zazwyczaj odpowiadającej grubości otulenia zbrojenia. Wówczas cały rozdrobniony beton uzyskany w trakcie wiercenia z otworu charakteryzuje uśrednione właściwości chemiczne całej grubości otulenia. Jednak tym sposobem otrzymuje się niewielką objętość rozdrobnionego betonu, która może nie być wystarczająca do prowadzenia w następnym etapie analiz chemicznych.

Opisanych wyżej mankamentów pozbawiony jest sposób, w którym stosuje się urządzenie o nazwie *Profi-*



Rys. 8. Urządzenie Profile Grinding Kit w trakcie warstwowego pobierania rozdrobnionego betonu z walcowego rdzenia wyciętego z konstrukcji żelbetowej: 1 – ściernica, 2 – koronka ściernicza, 3 – pierścieniowa prowadnica, 4 – walcowy rdzeń betonowy wycięty z konstrukcji, 5 – ewentualne zbrojenie w rdzeniu, 6 – drewniana obudowa stabilizująca rdzeń

le Grinding Kit [4], umożliwiające precyzyjne pobieranie warstwowo rozdrabnianego betonu. Schemat urządzenia zamocowanego na konstrukcji przedstawiono na rysunku 7. Grubość ściernych warstw, najczęściej 2÷5 mm, może być ustalana z dokładnością do 0,5 mm, co umożliwia gęsty podział grubości otulenia i dokładniejsze odwzorowanie rozkładu stężenia badanego składnika w betonie – rys. 6c.

Technika precyzyjnego warstwowego pobierania rozdrobnionego betonu może być stosowana na wyciętych z konstrukcji rdzeniach betonowych (odwiertach).

Walcowe rdzenie umieszcza się w stalowych obejmach będących dodatkowym wyposażeniem urządzenia *Profile Grinding Kit* [4] lub w wykonanych indywidualnie stabilizujących podstawach – rys. 8.

Wykonywanie modelowej cieczy porowej

Z rozdrobnionego betonu do cząstek średnicy około 0,2 mm sporządza się modelowe roztwory odwzorowujące ciecz porową. W warunkach krajowych roztwory modelowe wykonuje się w postaci wyciągu wodnego lub wyciągu uzyskanego metodą ekstrakcji próżniowej. W zaawansowanych laboratoriach zagranicznych odwzorowanie cieczy porowej betonu przeprowadza się metodą ekstrakcji ciśnieniowej.

Najprostszym modelem cieczy porowej jest wyciąg wodny, który uzyskuje się mieszając rozdrobniony beton z wodą destylowaną w proporcjach 1:1. Po 24 godzinach tęgowania następuje odsączenie fazy stałej, natomiast faza ciekła w przybliżeniu odwzorowuje ciecz zawartą w porach betonu. Otrzymany modelowy roztwór nie w pełni odpowiada składowi cieczy porowej. W porach stwardniałego zaczynu cementowego występuje odmienne ciśnienie od atmosferycznego, co powoduje istnienie innych równowag między składnikami fazy ciekłej i stałej.

Lepsze przybliżenie uzyskuje się metodą ekstrakcji próżniowej [5]. Po sporządzeniu wyciągu wodnego z rozdrobnionego betonu roztwór zatęża się próżniowo w wyparce rotacyjnej, uzyskując większe stężenie rozpuszczonych składników. W trakcie zatężania następuje wrzenie roztworu przy podciśnieniu 4 kPa w temperaturze 25÷30°C. Zatężanie prowadzi się proporcjonalnie do stosunku faz stałej i ciekłej. Fazą stałą w betonie jest stwardniały zaczyn cementowy (bez kruszywa), natomiast fazę ciekłą stanowi ciecz porowa [5].

Stosowanym dotychczas głównie za granicą sposobem odwzorowania cieczy porowej betonu jest opracowana we Francji metoda ekstrakcji ciśnieniowej [5]. Fazę ciekłą wyciska się z walcowej próbki betonowej w specjalnej prasie bardzo wysokim ciśnieniem rzędu ~450÷550 MPa. Metodą ekstrakcji ciśnieniowej uzy-

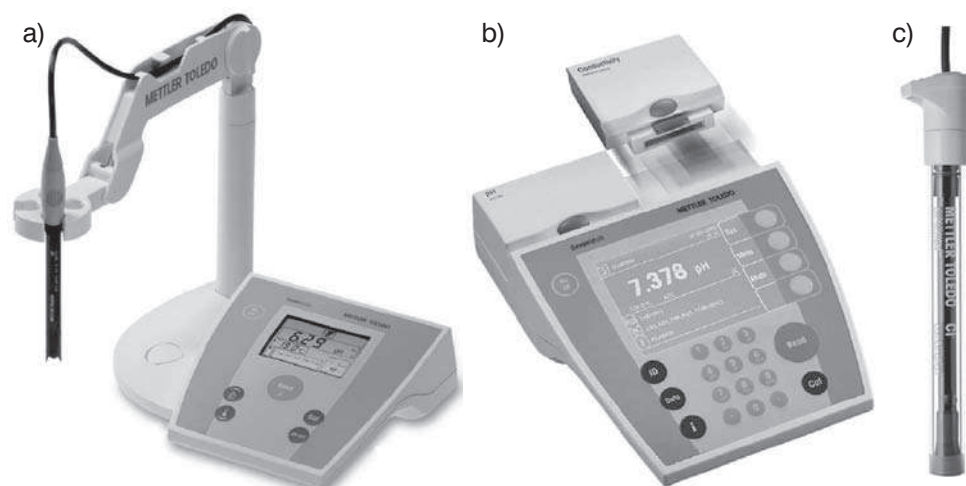
kuje się niewielkie ilości cieczy porowej, co utrudnia wykonanie oznaczeń chemicznych. Ponadto otrzymana ciecz jest uśrednieniem właściwości betonu na grubości całej próbki. W trakcie badania w warunkach wysokich ciśnień następuje dezintegracja betonu, a ciecz porowa filtrowana jest przez świeże przełamy struktury betonu, co może mieć wpływ na zaburzenie wyników badań właściwości ochronnych betonu.

Metody pomiarów

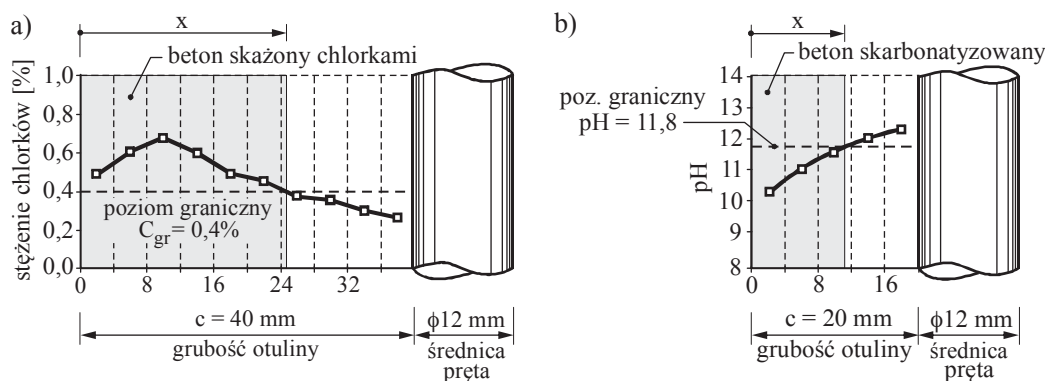
Ze względu na nieunikniony w każdej konstrukcji żelbetonowej proces karbonatyzacji betonu, zawsze zaleca się wykonanie pomiaru pH roztworu odwzorowującego ciecz porową betonu (pH jest ujemnym logarytmem dziesiętnym stężenia jonów wodorowych). Pomiary pH przeprowadza się pH-metrami, które w istocie mierzą różnicę potencjału pomiędzy elektrodą wskaźnikową (szklaną) zanurzoną w roztworze badanym i elektrodą porównawczą (o stałym i znanym potencjale) zanurzoną w roztworze wzorcowym o znanym pH. Współcześnie produkowane pH-metry najczęściej wyposażone są w elektrody zintegrowane, zawierające w jednej obudowie zarówno elektrodę wskaźnikową, jak i referencyjną (porównawczą). Przykład stanowi kombinowana elektroda *InLab Easy BNC* współpracująca z pH-metrem stacjonarnym *SevenEasy™ S20* [6] – rys. 9a.

Omawiając pomiar pH cieczy porowej w warunkach laboratoryjnych, należy wspomnieć o możliwości przybliżonego określania odczynu roztworu papierkami wskaźnikowymi, które zanurzone w badanym roztworze zabarwiają się w zależności od pH roztworu.

Badanie stężenia chlorków w roztworach wodnych można przeprowadzać metodami chemii analitycznej, w tym zalecaną normowo metodą *Mohra* [5]. Łatwiejszym sposobem postępowania przy oznaczaniu stężenia jonów chlorkowych w modelowym roztworze porowym są pomiary za pośrednictwem elektrod jonoselektywnych (*ion-selective electrodes, ISE*). W tych elektrodach potencjał zmienia się względem elektrody referencyjnej pod wpływem zmian aktywności jonów w badanym roztworze.



Rys. 9. Przyrządy do badania roztworów modelowych: a) stacjonarny pH-metr *SevenEasy™ S20*, b) stacjonarny miernik *SevenMulti™*, c) kombinowana elektroda jonoselektywna *perfectION™ comb Cl* do pomiaru stężenia chlorków [6]



Rys. 10. Zasady analizy wyników badań cieczy porowej betonu: a) profile stężenia chlorków, b) rozkłady pomiarów pH

Przykładem urządzenia umożliwiającym między innymi pomiar stężenia jonów chlorkowych w roztworach wodnych jest stacjonarny wielofunkcyjny miernik *SevenMultiTM* [6], opcjonalnie wyposażony w kombinowaną elektrodę jonoselektywną do chlorków *perfectIONTM comb Cl* – rys. 9b, c. Zasadnicza konstrukcja tej elektrody jest analogiczna jak elektrody kombinowanej do pomiaru pH.

Analiza wyników pomiarów

Wyniki analiz chemicznych modelowej cieczy porowej najwygodniej jest przedstawić w formie rozkładów wartości stężenia w kierunku grubości otulenia betonowego. Na rysunku 10a pokazano przykładowy profil stężenia jonów chlorkowych uzyskany w wyniku pomiarów prowadzonych w 10. warstwach 40. mm otulenia, natomiast na rysunku 10b przykładowy rozkład wartości pH otrzymany w 5 warstwach 20-mm otulenia. W obu przypadkach dokonano równomiernego podziału otuliny na warstwy grubości 4 mm.

Analiza profilu stężeń jonów chlorkowych (rys. 10a) polega na porównaniu rozkładu uzyskanego doświadczalnie z poziomem granicznym stężenia, który zgodnie z normą [7], w przypadku konstrukcji żelbetowych wynosi 0,4% w stosunku do masy cementu w betonie. Miejsce przecięcia linii granicznej z rozkładem punktów pomiarowych wyznacza punkt, którego odległość x mierzona od zewnętrznej powierzchni otulenia wskazuje na zasięg strefy nasyconej chlorkami o stężeniu wskazującym na pogorszenie właściwości ochronnych betonu względem zbrojenia. Zasięg tej strefy mniejszy od grubości otulenia ($x < c$) oznacza brak w momencie analizy warunków sprzyjających inicjacji korozji zbrojenia. Natomiast w przypadku, gdy zasięg x osiąga lub przekracza grubość otulenia ($x \geq c$), to należy oczekiwać inicjacji lub dalszego rozwoju procesów korozyjnych na zbrojeniu wywołanych przez jony chlorkowe.

Zasada analizy rozkładów wartości pH w kierunku grubości otulenia (rys. 10b) jest identyczna jak w przypadku analizy profilu stężenia chlorków. Jak wynika z badań doświadczalnych, pierwsze symptomy dekompozycji warstewki pasywnej na stali zbrojeniowej pojawiają się, gdy wartość pH w bezpośrednim jej sąsiedztwie obniża się do poziomu 11,8 [2]. Przez analogię do analizy profili stężenia chlorków, punkt przecięcia poziomej li-

nii granicznej pH = 11,8 z pomierzonym rozkładem wartości pH wyznacza granicę umownego zasięgu x strefy betonu zubożonego – rys. 10b. Zasięg x frontu karbonatyzacji, osiągający lub przekraczający grubość otulenia wskazuje możliwość rozwoju procesów korozyjnych na powierzchni zbrojenia. W przypadku, gdy zasięg x jest mniejszy od grubości otulenia, to zagrożenie korozją zbrojenia w wyniku karbonatyzacji betonu nie występuje.

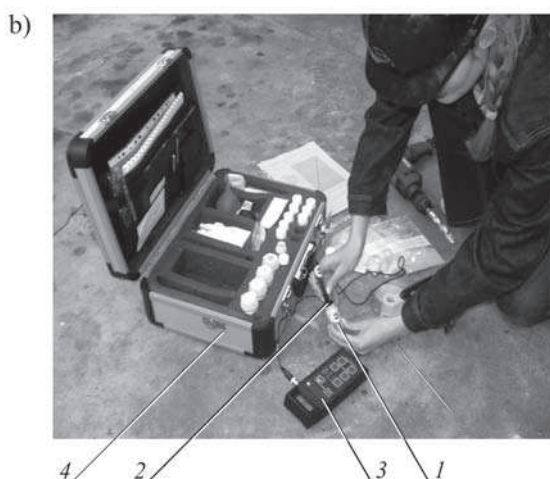
4. Szybkie oszacowania na podstawie badań in situ

Badania modelowych roztworów porowych uzyskanych z rozdrobnionego betonu pobieranego warstwowo umożliwiają stosunkowo dokładne odwzorowanie rozkładu stężeń wnikających z zewnątrz substancji i następnie na podstawie dalszych analiz teoretycznych prognozowanie przebiegu procesów w czasie [8]. Jednak odtworzenie cieczy porowej i jej badanie są pracochłonne. Dlatego do oszacowania właściwości ochronnych betonu stosuje się także szybkie testy wskazujące zasięg karbonatyzacji betonu i zagrożenie korozją chlorkową zbrojenia.

Zasięg karbonatyzacji betonu

Głębokość karbonatyzacji w stwardniałym betonie można szacować metodą fenoloftaleinową ujętą w normie [9]. Materiał do badań pobiera się dłutując beton lub wierząc serią otworów. Po oczyszczeniu z pyłu i luźnych cząstek, ale bez użycia wody i ścierania, na powierzchni świeżych przełamów nanosi się roztwór fenoloftaleiny. Zmianę barwy strefy nieskarbonatyzowanej na czerwono-fioletową zaleca się zmierzyć w ciągu 30 sekund od zwilżenia roztworem. Należy podkreślić, że zmiana koloru przełamu betonu z bezbarwnego na czerwono-fioletowy następuje przy wartościach pH ≈ 9 . Jak już wcześniej wspomniano, przy znacznie wyższej wartości pH = 11,8 następuje inicjacja procesów korozyjnych zbrojenia. Tak więc ustalenie metodą fenoloftaleinową zasięgu frontu karbonatyzacji może znacznie przeszacować zasięg strefy pogorszonych właściwości ochronnych betonu względem zbrojenia.

Wygodniejszym do stosowania od roztworu fenoloftaleiny są systemowe zestawy odczynników przeznaczonych do oznaczania głębokości karbonatyzacji betonu.



Rys. 11.
Systemowe wskaźniki do badania właściwości ochronnych betonu: a) Rainbow Indicator do określania stopnia zubożenia betonu, b) zestaw RCT do określania stężenia chlorków: 1 – próbka rozdrobnionego betonu z cieczą ekstrakcyjną; 2 – elektroda, 3 – miernik stężenia chlorków, 4 – walizka z zestawem RCT [4]

Deep Purple Indicator [4] stanowi odpowiednik roztworu fenoloftaleiny, który przy wartościach poniżej pH = 8,5÷9,5 wywołuje zmianę zabarwienia świeżego przekładu betonu z ciemno fioletowej na bezbarwną. Inny preparat Rainbow Indicator [4] rozpylony na świeży przekład betonu powoduje zróżnicowane zabarwienie betonu uzależnione od wartości pH – rys. 11a.

Zasięg wnikania chlorków

Badania stężenia jonów chlorkowych w betonie konstrukcji żelbetonowych można wykonać zestawami pomiarowymi RCT i RCTW [4]. Zestawy RCT i RCTW składające się między innymi z odczynników chemicznych, elektrod i miernika elektronicznego zostały umieszczone w jednej walizce, stanowiąc rodzaj mobilnego laboratorium. Przystępując do badań zawartości chlorków w pierwszej kolejności należy pobrać za pomocą wiertaki lub ściernicy (Profile Grinding Kit [4]) rozdrobniony beton. Następnie próbkę rozdrobnionego betonu miesza się w odpowiednich proporcjach ze specjalną cieczą ekstrakcyjną, wstrząsając mieszaninę przez 5 minut. Ciecz ekstrakcyjna usuwa jony utrudniające oznaczenia (np. siarczki) i ekstrahuje jony chlorkowe w próbce. Do tak przygotowanego roztworu wprowadza się wykalibrowaną elektrodę, która po podłączeniu do elektronicznego miernika umożliwia oznaczenie zawartości chlorków, automatycznie przeliczanej na procentową zawartość w odniesieniu do masy betonu – rys. 11b. W badaniach stosowane są dwie metody. Pierwsza metoda

– RCT (Rapid Chloride Test) [4] służy do określania zawartości chlorków rozpuszczalnych w kwasie. Natomiast druga metoda – RCTW (Rapid Chloride Test Water) [4] umożliwia wyznaczenie stężenia chlorków rozpuszczalnych w wodzie. W każdej metodzie jest używany inny rodzaj cieczy ekstrakcyjnej.

LITERATURA

[1] PN-EN 1992-1-1 Eurokod 2. Projektowanie konstrukcji z betonu. Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków
 [2] Ścisławski Z., Ochrona konstrukcji żelbetonowych, Arkady, Warszawa 1999
 [3] De Sitter, CEB-RILEM Workshop Report. Durability of Concrete Structures. Copenhagen 1983, CEB-Bulletin No. 152
 [4] Materiały informacyjne firmy Germann Instruments (www.germann.org/top.htm)
 [5] Wieczorek G., Korozja zbrojenia inicjowana przez chlorki i karbonatyzację utuliny, Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne, Wrocław 2002, s. 377
 [6] Materiały informacyjne firmy Mettler Toledo (http://pl.mt.com/pl/pl/home.html)
 [7] PN-EN 206-1:2003/Ap1:2004 Beton. Część 1. Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność
 [8] Zybura A., Jaśniok M., Jaśniok T., Diagnostyka konstrukcji żelbetonowych. Badania korozji zbrojenia i właściwości ochronnych betonu, t. 2, PWN, Warszawa 2011, s. 274
 [9] PN-EN 14630:2007 Wyroby i systemy do ochrony i napraw konstrukcji betonowych. Metody badań. Oznaczanie głębokości karbonatyzacji w stwardniałym betonie metodą fenoloftaleinową

Pracę wykonano w ramach projektu badawczego POIG.01.01.02-10-106/09-03 „Innowacyjne środki i efektywne metody poprawy bezpieczeństwa i trwałości obiektów budowlanych i infrastruktury transportowej w strategii zrównoważonego rozwoju”.

www.przegladbudowlany.pl/archiwum



Archiwum od ręki
archiwalne spisy treści
na stronach www