



Badanie zbrojenia żelbetowej konstrukcji nośnej pomnika

Beata Ordon-Beska¹

STRESZCZENIE:

W artykule przedstawiono badanie zbrojenia konstrukcji żelbetowej fundamentu i cokołu pomnika Bohaterów Bitwy pod Mokrą. Do badania wykorzystane zostały dwa urządzenia: Ferroskan Hilti FS10 i Profometr PM-650. Szczegółowe wyniki uzyskane z urządzeń nie są w pełni zgodne, jednakże oba urządzenia wskazały znaczną głębokość położenia zbrojenia zarówno w cokole, jak i w fundamencie. Żadne z urządzeń nie wskazało wiarygodnej średnicy prętów. Biorąc pod uwagę siłę zarejestrowanych sygnałów i wskazaną grubość otuliny, należy sądzić, że użyto prętów o małej średnicy. Zastosowanie dwóch urządzeń bazujących na tej samej metodzie badawczej, ale różniących się parametrami pracy i sposobem analizy oraz prezentacji wyników okazało się być pomocne w interpretacji wyników.

SŁOWA KLUCZOWE:

żelbet; diagnostyka; metoda elektromagnetyczna; zbrojenie

1. Wprowadzenie

Pomnik Bohaterów Bitwy pod Mokrą w miejscowości Mokra w gminie Miedźno został wzniesiony w 1975 roku. Na konstrukcję pomnika składa się żelbetowa bryła fundamentu o wymiarach 4,50x5,50x1,55 m posadowiona na głębokości 1,70 m na warstwie chudego betonu o grubości 0,40 m względem asfaltowej nawierzchni nasypu okalającego pomnik, cokół żelbetowy o wymiarach 1,50x4,50x3,00 m obłożony płytami z piaskowca, słup żelbetowy posadowiony w cokole i ukształtowany w formie skrzydła husarskiego oraz okalająca go rzeźba z piaskowca wspierająca się na cokole pośrednio przez płytę żelbetową grubości 0,20 m. Latem 2018 roku, w związku z zaobserwowanymi w strefie posadowienia pomnika deformacjami nawierzchni asfaltowej ułożonej na nasypie wokół niego i planowaną modernizacją terenu, została przeprowadzona ekspertyza budowlana, której celem była ocena stanu technicznego pomnika, a w jej ramach badanie zbrojenia fundamentu i cokołu ze względu na to, że wady zbrojenia i skutki oddziaływania środowiska na zbrojenie oraz na beton mogą być przyczyną poważnych uszkodzeń konstrukcji oraz utraty nośności [1, 2]. Badaniu został poddany także beton, co nie wchodzi jednak w zakres niniejszego artykułu. Badanie zbrojenia zostało przeprowadzone metodą nieniszczącą, jak często postępuje się przy wykonywaniu ekspertyz [3]. Zastosowano metodę elektromagnetyczną, dwoma urządzeniami, w celu potwierdzenia wyników i jednocześnie zebrania jak najszerszej bazy danych. Zastosowane urządzenia to ferroskan FS10 firmy Hilti i profometr PM-650 firmy Proceq.

2. Ocena wizualna żelbetowego bloku fundamentu i cokołu

Badanie fundamentu przeprowadzono na jego południowo-zachodnim narożniku w odkrywcę o głębokości dochodzącej do 180 cm. Odkrywkę fundamentu wykonano w dniu poprze-

¹ Politechnika Częstochowska, Wydział Budownictwa, ul. Akademicka 3, 42-218 Częstochowa, e-mail: bbeska@bud.pcz.pl, orcid id: 0000-0003-2236-6065

dzającym badanie, zatem jego powierzchnia była przed badaniem poddana działaniu powietrza i temperatury przez około 24 godziny. Bezpośrednio przed badaniem powierzchnia fundamentu została oczyszczona szczotką z pozostałości piasku. Nie zauważono śladów korozji zbrojenia ani śladów wypłukiwania związków wapnia. Fundament został uformowany w deskowaniu drewnianym. Oprócz artefaktu drewna występują na jego powierzchni niewielkie garbki betonowe i przesunięcia powstałe w miejscach styku desek, co jednak nie uniemożliwiło wykonania badania. Na podstawie badania sklerometrycznego beton fundamentu został sklasyfikowany poniżej klasy B15 (C12/15). Nie zauważono uszkodzeń mechanicznych czy zarysowania betonu. Zauważono natomiast w kilku miejscach pręty stalowe o średnicy poniżej 1 cm ułożone prostopadle do ściany fundamentu, wystające z niego na około 0,5–1 cm. Rysunek 1a przedstawia badany fragment fundamentu.



Rys. 1. a) Widok fragmentu fundamentu (fot. A. Kysiak); b) fragment odkrytej powierzchni betonowego bloku cokołu (fot. A. Kysiak)

Badanie cokołu zostało przeprowadzone na jego północno-wschodniej ścianie po usunięciu okładziny z piaskowca, co nastąpiło w dniu poprzedzającym badanie. Stan wilgotności betonu został oceniony jako powietrzno suchy. Na odkrytym fragmencie o wymiarach 40x100 cm zauważono ubytki i poważne spękanie betonu (rys. 1b), zwłaszcza bezpośrednio przy narożniku, sięgające dość głęboko pod powierzchnię ściany południowo-wschodniej, czego przyczyną należy upatrywać w przenikaniu wody deszczowej przez nieszczelności okładziny i w działaniu mrozu. Zaobserwowane zostały też ślady korozji zbrojenia i betonu. Opisane uszkodzenia powierzchni nie spowodowały znaczących trudności w przeprowadzeniu badania, ponieważ odspojone fragmenty betonu były utrzymywane przez płytę okładziny pozostawioną na drugiej ścianie dochodzącej do narożnika.

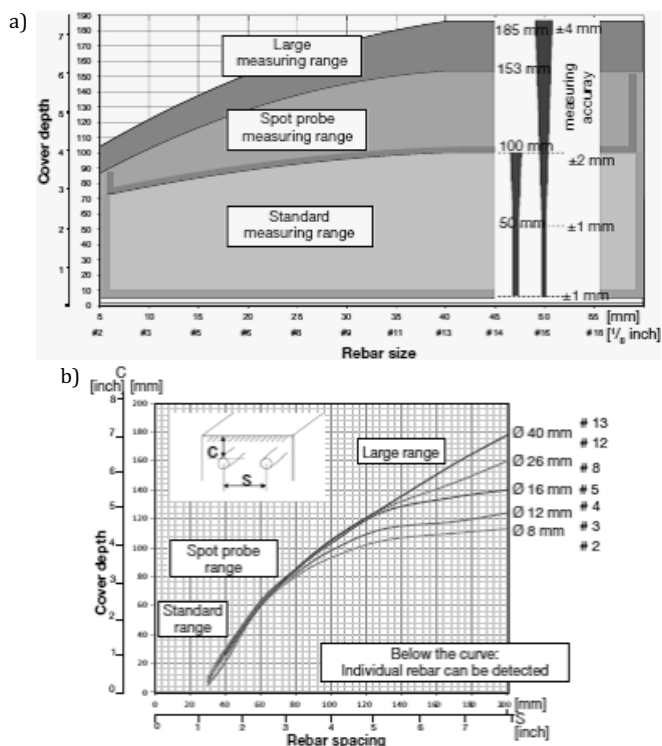
3. Zastosowane urządzenia i procedury pomiarowe

3.1. Urządzenia

Do badania zbrojenia zastosowana została metoda elektromagnetyczna, w ramach której funkcjonuje metoda pomiaru zmian pola magnetycznego, metoda prądów wirowych i metoda strumienia rozproszenia [4, 5]. W zależności od urządzenia i wykorzystanej w nim metody oraz zastosowanych układów cewek ocenić można średnicę zbrojenia i grubość otuliny jednocześnie lub jedną z tych cech przy znanej drugiej, rozstaw prętów i ilość warstw. Wykorzystane dwa urządzenia: ferroskan FS 10 firmy Hilti i profometr PM-650 firmy Proceq, bazujące na zjawisku indukcji elektromagnetycznej i zjawisku wzbudzania prądów wirowych, umożliwiają kompleksowe zbadanie zbrojenia w zróżnicowanych zakresach pomiarowych. Oba urządzenia składają się ze skanera wyposażonego w koła, co znacznie ułatwia przesuwanie go po powierzchni i umożliwia pomiar długości pokonanej drogi, oraz w rejestrator wyników wyposażony w monitor. Oprogramowanie rejestratora każdego z urządzeń umożliwia przegląd i analizę wyników na urządzeniu zaraz po zakończeniu badań oraz przeniesienie pliku do komputera i dalszą obróbkę za pomocą załączonego oprogramowania.

3.2. Zakresy pomiarowe

Zakresy pomiarowe są w obu urządzeniach podobne. Ferroskan [6, 7] pozwala zlokalizować zbrojenie na głębokości maksymalnej od 130 mm ($\phi 6$) do 180 mm ($\phi 36$). Średnica szacowana jest wiarygodnie do głębokości 60 mm dla prętów wymienionych w normie DIN 488 [10]. Przy odpowiedniej proporcji odległości między prętami do głębokości położenia dokładność szacunku wynosi \pm jedną średnicę, co oznacza, że jeśli urządzenie wskazuje średnicę $\phi 16$, to równie prawdopodobna jest taka właśnie średnica, jak i $\phi 14$, $\phi 18$ i $\phi 20$. Taki sam problem występuje w przypadku średnicy $\phi 22$. Dokładność pomiaru otuliny wynosi $\pm 10\%$, a maksymalny zakres głębokości przy pomiarze średnicy wynosi od 90 mm ($\phi 6$) do 150 mm ($\phi 36$). Pojedyncze pręty można zlokalizować, jeżeli stosunek grubości otuliny do ich rozstawu w świetle wynosi co najmniej 1:1. Profometr PM-650 [8, 9] pracuje w 3 zakresach pomiarowych zilustrowanych na rysunku 2a: standardowym (standard), punktowym (spot) i dużym (large). Jak wynika z rysunku, zakres standardowego pomiaru otuliny jest najmniejszy w całym przedziale wskazanych średnic, jednocześnie dokładność pomiaru jest największa, a błąd jest nie większy niż ± 2 mm. W przypadku zakresu dużego błąd dochodzi do ± 4 mm przy głębokości 185 mm. Te graniczne wartości błędów są zachowane, gdy znana jest średnica pręta i gdy w obszarze o średnicy 400 mm wokół ośrodka pomiarowego sondy nie znajdują się żadne materiały mogące przewodzić prąd. W innym przypadku oszacować błąd pomiaru i ustalić grubość otuliny można, tylko wykonując odkrywkę. Dokładność pomiaru średnicy zależy od dwóch czynników: grubości prętów ułożonych w obu kierunkach i od rozstawu pomiędzy prętami w każdej z dwóch warstw. Zgodnie z [8], dokładność pomiaru wynosi ± 1 rozmiar zbrojenia, jeżeli odległość pomiędzy prętami warstwy płytszej wynosi nie mniej niż 5 cm, a odległość pomiędzy prętami warstwy głębszej nie mniej niż 15 cm. Możliwości wykrycia pojedynczych prętów są zróżnicowane i zależą od stosunku grubości otuliny do odległości pomiędzy prętami oraz od zakresu pracy urządzenia, jak zilustrowano na rysunku 2b.



Rys. 2. a) Zakresy pomiaru otuliny i dokładność pomiaru; b) rozdzielczość profometru PM-650 [8]

Z rysunku tego wynika, że przy standardowym zakresie pomiaru rozdzielczość jest prawie niezależna od średnicy prętów w zakresie od $\phi 8$ do $\phi 40$, a minimalna odległość pozwalająca zlokalizować pojedyncze pręty wynosi 30 mm przy otulinie poniżej 10 mm. Istotne różnice w rozdzielczości pojawiają się dopiero w obszarze zakresu punktowego, a największe występują w obszarze zakresu dużego i przy odległości pomiędzy prętami 200 mm wynoszą około 70 mm grubości otuliny.

3.3. Zastosowane procedury pomiarowe

W badaniu konstrukcji ferroskanem wykorzystane zostały obie dostępne procedury. Pierwsza z nich to procedura Quickscan – pomiar liniowy pozwalający na wykrycie zbrojenia i sprawdzenie otuliny minimalnej przy zadanej średnicy pręta. Może również być wykorzystana do ustalenia orientacji pomiarów wykonywanych w drugiej procedurze – Imagescan, pozwalającej na zbadanie zbrojenia na wybranej powierzchni o maksymalnych wymiarach 60x60 cm, podzielonego w dwóch wzajemnie prostopadłych kierunkach na pasma o szerokości 15 cm. W procedurze tej możliwe jest oszacowanie średnicy i otuliny każdego pręta, wykrycie stref zakładu i zakończeń oraz odchylenia zbrojenia od powierzchni skanowania.

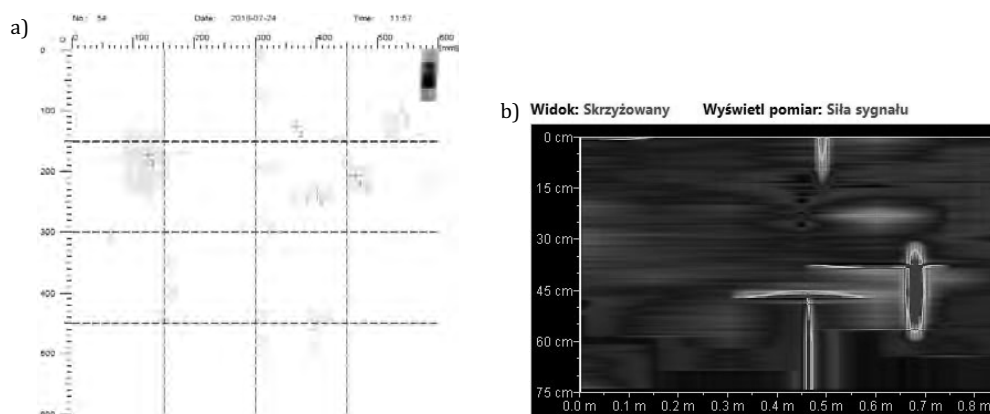
Profometr PM-650 umożliwia badania w pięciu trybach, z których wykorzystane zostały trzy. Tryb podstawowy – Locating – ma zastosowanie do wykrywania pojedynczych prętów i ustalania ich średnicy oraz otuliny, a dodatkowo do ustalania kierunku zbrojenia jako podstawy do orientacji wykonywania pomiarów w trybach bardziej zaawansowanych. Kolejnym wykorzystanym trybem jest tryb Single-Line, który stosuje się do szacowania otuliny zbrojenia wzdłuż jednej linii i określania jego otuliny, może też być użyty do wstępnego badania zbrojenia elementów wielkowskalarowych. Ostatnim z wykorzystanych trybów jest tryb Cross-Line, w którym wykonuje się pomiary liniowe w dwóch wzajemnie prostopadłych kierunkach. Jest on odpowiednikiem opisanego wcześniej trybu Imagescan, przy czym szerokość pasm można ustalać w zależności od potrzeb badawczych, poczynając od 5 cm.

4. Wyniki badań

4.1. Fundament

Badanie urządzeniem Ferroskan FS10 rozpoczęto od pomiarów w trybie Quickscan w celu wstępnego ustalenia położenia zbrojenia. Wykonano po dwa pomiary poziomo i pionowo na południowej ścianie fundamentu widocznej na rysunku 1a. W obu pasmach zarejestrowano po jednym sygnale, przy czym w pierwszym biegnącym przy górnej krawędzi bloku – w odległości 60 cm od krawędzi pionowej fundamentu, a w drugim odległym od pierwszego o 30 cm – w odległości 145 cm od tej krawędzi. W pomiarach w pionie zlokalizowano w paśmie przykrawędziowym dwa sygnały: pierwszy w odległości 10 cm od krawędzi poziomej (górnej), a drugi w odległości 70 cm, natomiast w paśmie drugim odległym od pierwszego o 40 cm zlokalizowano cztery sygnały na odcinku do 35 cm od tej krawędzi. Analiza głębokości sygnału w połączeniu z założeniem kolejnych średnic wykazała, że ewentualne zbrojenie o przebiegu równoległym do krawędzi bloku fundamentowego znajduje się na głębokości nie mniejszej niż 60–70 mm. Szczegółowemu badaniu w procedurze Imagescan poddany został fragment o wymiarach 60x60 cm w górnym narożniku ściany. Graficzny obraz zarejestrowanego sygnału przedstawiono na rysunku 3a.

Analiza sygnału okazała się możliwa tylko w punktach zaznaczonych, i tak: w punktach 1 i 2 sygnał został przypisany zbrojeniu pionowemu, w pozostałych poziomemu. Rozkład punktów nie daje dostatecznych informacji do określenia rozstawu ewentualnego zbrojenia. Otulina została oszacowana w granicach od 80 do 155 mm dla średnicy 6 mm.

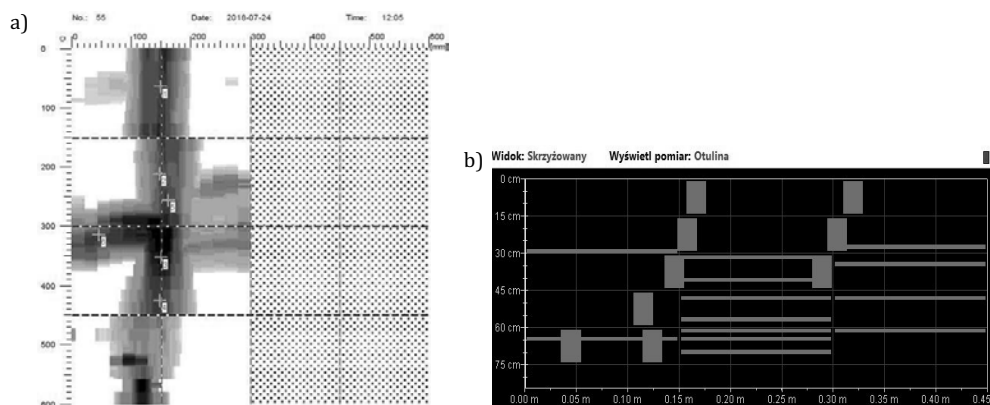


Rys. 3. Graficzny obraz sygnału zarejestrowany na fundamencie: a) ferroskan FS-10; b) profometr PM-650

Badanie profometrem wykonane w trybie Cross-Line i zilustrowane na rysunku 3b wykazało obecność zbrojenia w ilości dwóch prętów pionowych w odległości od krawędzi fundamentu 49 i 70 cm od krawędzi pionowej i czterech poziomych, z których pierwszy znalazł się na linii początkowej pola pomiarowego, a kolejne w odległości od tej krawędzi odpowiednio 22, 37 i 45 cm. Otulina zbrojenia pionowego została określona na mniej niż 50 mm, a poziomego na ponad 75 mm. Średnica prętów nie została określona.

4.2. Cokół

W badaniu urządzeniem ferroskan FS10 poddano powierzchnię 30x60 cm na lewej bocznej ścianie przy tylnym narożniku. Uzyskano obraz graficzny sygnału przedstawiony na rysunku 4a. Obraz sygnału wskazuje 1 pręt o przebiegu pionowym oraz najprawdopodobniej strefę zakładu zbrojenia poziomego. Analiza siły sygnału została wykonana w punktach zaznaczonych na rysunku. Wyniki analizy wskazują obecność zbrojenia ortogonalnego o możliwej średnicy 6 mm, z otuliną od 53 do 72 mm, ale ze względu na fakt, że jako wynik dostatecznie wiarygodny oznaczony został jedynie wynik analizy w punkcie nr 3 na przecie pionowym, uzyskany rezultat należy traktować jako niepewny.



Rys. 4. Graficzny obraz sygnału zarejestrowany na cokole: a) ferroskan FS-10; b) profometr PM-650

Badanie profometrem PM-650 rozpoczęto w trybie Single-Line. Wykonano 2 pomiary w poziomie i jeden pomiar w pionie. Na wycinku długości 40 cm od pionowej krawędzi

cokołu zlokalizowano w pierwszym paśmie pręt w odległości 16,5 cm od krawędzi pionowej, a w drugim: pierwszy w odległości 14 cm od krawędzi, a drugi w odległości 24,5 cm od niego, na głębokości 87 mm, oraz 2 pręty poziome w odległości 51,5 cm od górnego brzegu pola pomiarowego (stanowiącego powierzchnię jednej płyty okładziny), a następny w odległości 27 cm od niego, na głębokości 87 mm. System pomiarowy nie wykonał obliczeń średnicy zbrojenia z powodu zbyt głębokiego położenia prętów. Błąd szacowania otuliny wynosi w tym wypadku do ± 3 mm. Dodatkowo wykonano pomiar powierzchniowy w trybie Cross-Line (rys. 4b)). Wykryto 2 pręty pionowe na głębokości 79–100 mm i kilka prętów poziomych na głębokości 78–93 mm. Średnica zbrojenia nie została określona. Pierwszy pręt pionowy leży w odległości od krawędzi cokołu około 12 cm, a drugi w odległości od niego około 15 cm. Wykonano również pomiar przy zwiększonym zakresie głębokości, ale nie udało się uzyskać szacunku średnicy zbrojenia.

5. Wnioski

1. Należy stwierdzić, że zarówno cokół, jak i fundament zbrojone są prętami o układzie ortogonalnym o dużym rozstawie, z otuliną ponad 80 mm w fundamencie i 70 mm w cokole.
2. Znaczna głębokość, na jakiej zbrojenie jest usytuowane, uniemożliwia uzyskanie pełnego, ciągłego obrazu zbrojenia i określenie jego średnicy. Bardziej dokładne wyniki byłyby możliwe do uzyskania po skalibrowaniu urządzeń przez wprowadzenie do oprogramowania rzeczywistej średnicy prętów i rzeczywistej otuliny na podstawie odkrywki.
3. Wyniki badań wykonanych oboma urządzeniami w porównywalnych co do zasady i zastosowania trybach nie pokrywają się w pełni. W znacznym stopniu spowodowane jest to różnicą parametrów technicznych urządzeń i użytych ustawień.
4. Zastosowanie dwóch urządzeń bazujących na tej samej metodzie badawczej, ale różniących się parametrami pracy i sposobem analizy oraz prezentacji wyników od może być pomocne w wykonywaniu podobnych badań i interpretacji ich rezultatów.

Podziękowania

Składam podziękowania Panu drowi inż. Andrzejowi Kysiakowi za udostępnienie dokumentacji fotograficznej.

Literatura

- [1] Gladyshev D., Variants of strengthening of shells of reinforced concrete cooling towers depending on constructional features and actual technical condition, *Zeszyty Naukowe Politechniki Częstochowskiej* 2015, seria Budownictwo 21, 75–84.
- [2] Urbański M., Ocena stanu technicznego żelbetowych silosów zbożowych, *Zeszyty Naukowe Politechniki Częstochowskiej* 2016, seria Budownictwo 22, 298–306.
- [3] Wójcicki A., Sokołowski K., Naprawa żelbetowych płyt balkonowych w budynkach wielorodzinnych, *Zeszyty Naukowe Politechniki Częstochowskiej* 2017, seria Budownictwo 23, 325–334.
- [4] Chady T., Runkiewicz L., Sikora R., Wójtowicz S., Lokalizacja zbrojenia w budowlanych elementach żelbetowych, 31 Krajowa Konferencja Badań Nieniszczących, *Szczyrk* 2002, 233–236.
- [5] Drobiec L., Jasiński R., Piekarczyk A., Sposoby lokalizacji stali zbrojeniowej w konstrukcjach żelbetowych. Metoda elektromagnetyczna (cz. II), *Przegląd Budowlany* 2007, 12, 31–37.
- [6] Ferrosan FS 10. Operating Instructions, HILTI Corp, Liechtenstein 2000.
- [7] Ferrosan FS 10. Software manual Version 4.0, HILTI Corp, Liechtenstein 2000.
- [8] Profometer. Operating Instructions, Proceq SA, 2017.
- [9] Profometr PM-6. Instrukcja obsługi. Proceq – Szwajcaria, Viateco Sp. z o.o., maj 2018.
- [10] DIN 488:1984, teil 1, Betonstahl – Sorten, Eigenschaften, Kennzeichen.

Reinforcement study of the monument suport concrete structure

ABSTRACT:

The article presents the study of the RC foundation and pedestal reinforcement of the Monument of the Heroes of Mokra Battle. Two devices were used for the test: Ferroskan Hilti FS10 and PM-650. Detailed results obtained from the devices are not fully compliant, however, both devices indicated a significant depth of reinforcement position both in the pedestal and in the foundation. None of the devices indicated the reliable diameter of the rebar. Considering the level of recorded signals and the indicated thickness of the cover, it should be assumed that small diameter rods have been used. The use of two devices based on the same research method but differing in the work parameters and the method of analysis and presentation of the results turned out to be helpful in the interpretation of the results.

KEYWORDS:

reinforced concrete; diagnostic investigation; electromagnetic method; reinforcement