

Łukasz Drobiec*

Politechnika Śląska, Wydział Budownictwa

Możliwości detekcji zbrojenia w konstrukcjach żelbetowych

Possibilities of detecting reinforcement in concrete structures

STRESZCZENIE

Metody nieniszczące rozwijają się obecnie bardzo szybko. Doskonalone są zarówno techniki badań, jak i same urządzenia diagnostyczne. Do lokalizacji zbrojenia w konstrukcjach żelbetowych wykorzystuje się najczęściej metody radarową i elektromagnetyczną. W artykule, na przykładzie badań wybranych konstrukcji żelbetowych, opisano współczesne możliwości prowadzenia nieniszczących badań polegających na wykrywaniu zbrojenia.

Słowa kluczowe: metoda elektromagnetyczna, metoda radarowa, badania nieniszczące, lokalizacja zbrojenia.

ABSTRACT

Non-destructive testing methods are currently developing rapidly. Both testing techniques and diagnostic equipment are being improved. Radar and electromagnetic methods are most commonly used to locate reinforcement in reinforced concrete structures. This article, using selected reinforced concrete structures as an example, describes the current possibilities of conducting non-destructive testing for reinforcement detection.

Keywords: electromagnetic method, radar method, non-destructive testing, reinforcement location.

1. Wstęp

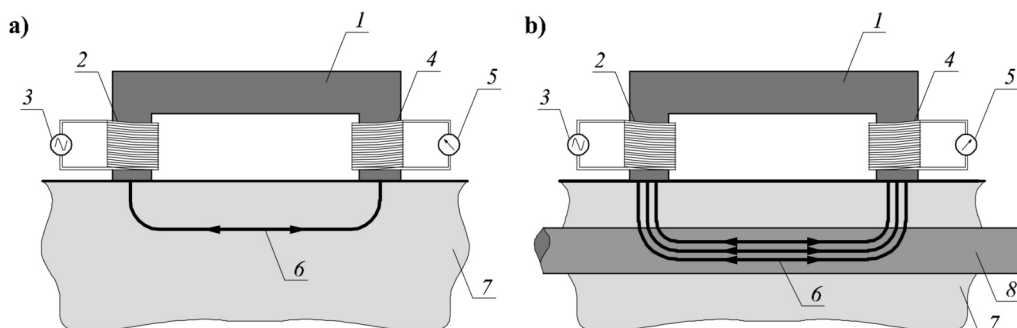
Metody nieniszczące zaczęto w kraju wykorzystywać do diagnostyki konstrukcji żelbetowych w połowie XX w. Pierwsze prace badawcze prowadzono w Polskiej Akademii Nauk, Politechnice Warszawskiej, Instytucie Techniki Budowlanej oraz Instytucie Elektrotechniki. Prace naukowe z tego zakresu podejmowali między innymi prof. Wacław Olszak, prof. Antoni Sawczuk, prof. Zdzisław Pawłowski, prof. Lesław Brunarski i prof. Leonard Runkiewicz [1]. Do wykrywania zbrojenia w konstrukcji stosowano wówczas metodę elektromagnetyczną i radiograficzną [2, 3]. Liczne prace naukowe zaowocowały opracowaniem instrukcji ITB do stosowania metody radiograficznej [4] oraz stworzeniem polskiego urządzenia o nazwie Femetr, służącego do lokalizacji zbrojenia [5].

Obecnie metody nieniszczące rozwijają się bardzo szybko. Doskonalone są zarówno techniki badań, jak i same urządzenia

diagnostyczne. Do lokalizacji zbrojenia w konstrukcji stosuje się najczęściej metody radarową i elektromagnetyczną oraz tomografy ultradźwiękowe [6, 7, 8, 9]. Dokładność pomiaru urządzeń diagnostycznych jest ciągle poprawiana i doskonała [10, 11]. W artykule, na przykładzie badań żelbetowych słupów wznoszonego obiektu przemysłowego, opisano współczesne możliwości prowadzenia nieniszczących badań polegających na wykrywaniu zbrojenia oraz wad wewnętrznych.

2. Idea metody elektromagnetycznej

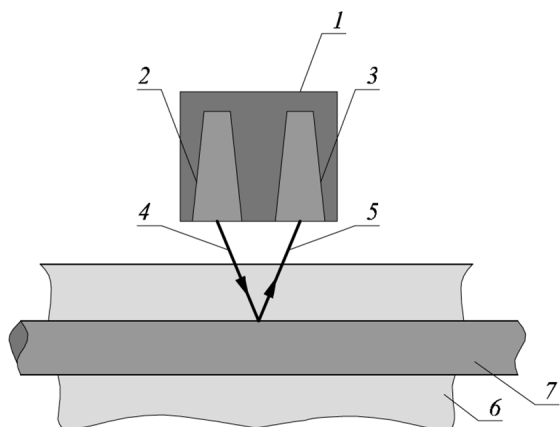
Metodami elektromagnetycznymi przyjęto zwyczajowo nazywać metody wykorzystujące zjawisko indukcji elektromagnetycznej, polegające na wytwarzaniu pola elektromagnetycznego i analizie jego zmiany w chwili napotkania zbrojenia w konstrukcji (rys. 1).



Rys. 1. Zasada działania urządzenia bazującego na metodzie elektromagnetycznej: a) pomiar w betonie, b) pomiar w przypadku napotkania pręta zbrojeniowego (1 – stalowy rdzeń, 2 – cewka nadawcza, 3 – źródło prądu zmiennego, 4 – cewka odbiorcza, 5 – miernik napięcia, 6 – strumień magnetyczny, 7 – beton, 8 – pręt zbrojeniowy)

*Autor korespondencyjny.

E-mail: lukasz.drobiec@polsl.pl



Rys. 2. Zasada działania metody radarowej:

1 – zespół pomiarowy, 2 – antena nadawcza, 3 – antena odbiorcza,
4 – impuls elektromagnetyczny, 5 – impuls odbity od zbrojenia,
6 – beton, 7 – pręt zbrojeniowy

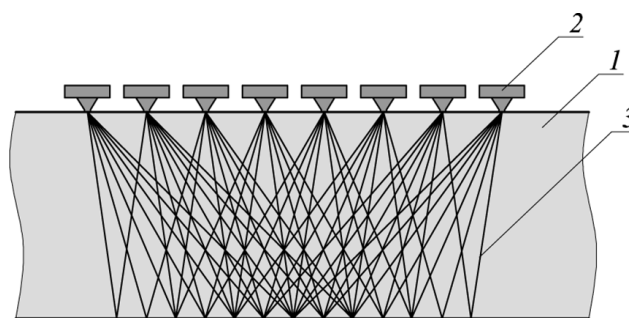
Podstawą metody jest różnica w przenikalności magnetycznej betonu i stali. Względna przenikalność magnetyczna stali niskowęglowych wynosi $\mu_r = 100 \div 200$, natomiast względna przenikalność magnetyczna betonu jest bliska jedności ($\mu_r = 1$) [7]. Pierwsze urządzenia działające na zasadzie indukcji elektromagnetycznej pojawiły się w połowie XX w. Przez długie lata nie udało się zbudować urządzenia, które umożliwiłoby pomiar średnicy i otuliny zbrojenia, nie mówiąc o uzyskaniu obrazu zbrojenia na konstrukcji. Pierwsze takie urządzenia powstały dopiero pod koniec XX wieku. Obecnie na rynku znaleźć można wiele urządzeń elektromagnetycznych dedykowanych do lokalizacji zbrojenia w konstrukcji.

3. Idea metody radarowej

W roku 1904 Christian Hülsmeier użył po raz pierwszy fal radiowych do detekcji obiektów metalowych – statków płynących w mgłę. Pierwsze pomiary georadarowe wykonane zostały natomiast przez niemieckiego geofizyka W. Sterna w roku 1929. Techniki GPR do badań żelbetonowych konstrukcji zaczęto powszechnie stosować dopiero w latach 80 dwudziestego wieku [7]. Badania metodą radarową polegają na transmisji do konstrukcji impulsu fali elektromagnetycznej o częstotliwości $100 \text{ MHz} \div 2 \text{ GHz}$. Długość trwania pojedynczego impulsu to około 1 nanosekundy ($1 \cdot 10^{-9} \text{ s}$). Emitowany sygnał przenika przez granicę kolejnych materiałów o różnych właściwościach elektrycznych (np. beton i zbrojenie), w taki sposób, że część przechodzi przez granicę do nowego materiału, reszta zaś ulega rozproszeniu lub odbiciu. Odbity sygnał jest następnie rejestrowany przez antenę odbiorczą (rys. 2).

4. Zasada działania tomografu ultradźwiękowego

Metoda ultradźwiękowa należy do metod impulsowych, w której wykorzystuje się drgania mechaniczne o częstotliwości większej od granicy słyszalności ucha ludzkiego, czyli ponad 20 kHz , stąd zwanymi ultradźwiękami. Metoda ta jest metodą akustyczną bazującą na analizie relacji między prędkością fal sprężystych



Rys. 3. Zasada pomiaru tomografem ultradźwiękowym:

1 – badany element, 2 – głowica ultradźwiękowa,
3 – wiązka ultradźwięku

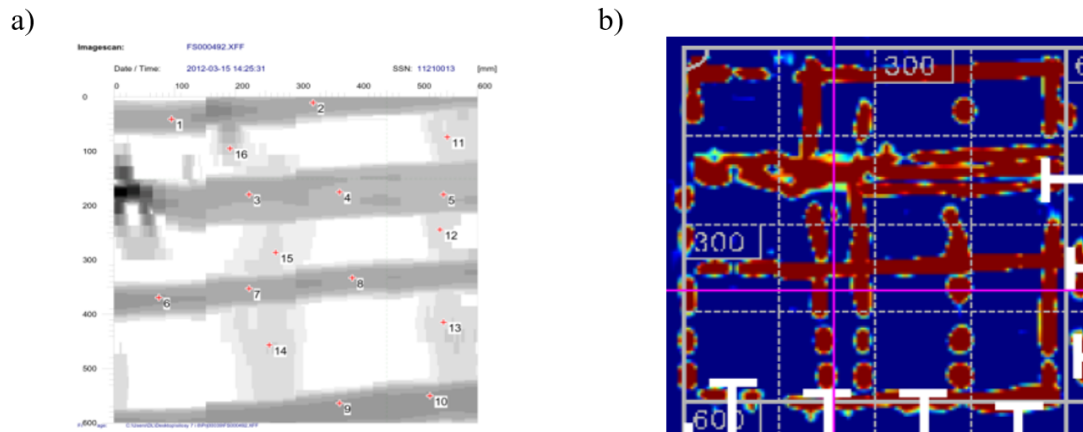
o częstotliwości $20 \div 500 \text{ kHz}$ rozprzestrzeniających się w ośrodku stałym, a właściwościami tego ośrodka [7]. W tomografach ultradźwiękowych wykorzystuje się zwykle kilka rzędów eksponencyjnych ultradźwiękowych głowic pomiarowych pracujących w zakresie częstotliwości 50 kHz . Każda głowica pomiarowa transmituje sygnał ultradźwiękowy w postaci fal poprzecznych i echa tych sygnałów są odbierane przez pozostałe głowice. Poszczególne głowice przesyłają własny sygnał po kolei, z opóźnieniem $8 \div 200 \text{ ms}$. Kompletny pomiar w jednym rzędzie składa się z sumy skanów – tzw. A-skany (rys 3). A-skany służą do tworzenia w czasie rzeczywistym tzw. B-skanu, czyli przekroju badanego elementu usytuowanego prostopadle do powierzchni skanowania. W celu wizualizacji wyników badań amplitudom odebranego sygnału oprogramowanie przyporządkowuje kolory i tworzy mapy. Amplitudom o najmniejszych wartościach przyporządkowany jest zwykle kolor granatowy, a amplitudom o wartościach największych kolor czerwony. Wynikiem badania jest poprzeczny przekrój badanego elementu. Zasięg urządzenia zależy od gęstości badanego materiału oraz od ilości wad wewnętrznych. Zwykle w materiałach konstrukcyjnych zasięg ten wynosi do $2,5 \text{ m}$.

5. Porównanie metody elektromagnetycznej i radarowej

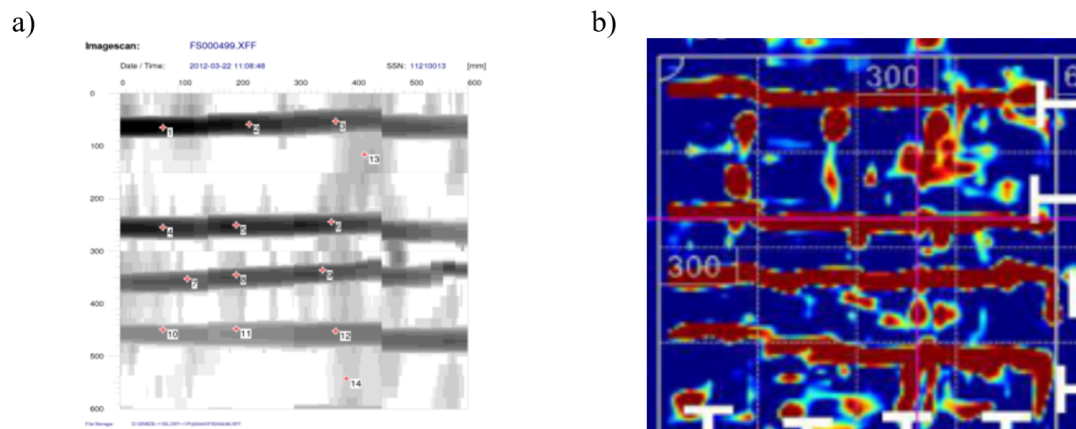
Porównanie metod elektromagnetycznej i radarowej wykonano podczas badań silosów żelbetonowych o średnicy $17,0 \text{ m}$ i wysokości $47,5 \text{ m}$. Na rys. 4 i 5 pokazano wyniki badań urządzeniami PS200 i PS1000, wykonanych w tych samych miejscach ścian silosa.

Na rys. 4a w skanie elektromagnetycznym nie udało się dokładnie uchwycić ilości prętów, co wynika z ograniczeń samej metody. Liczbę prętów określono dokładanie na skanie radarowym (rys. 4b).

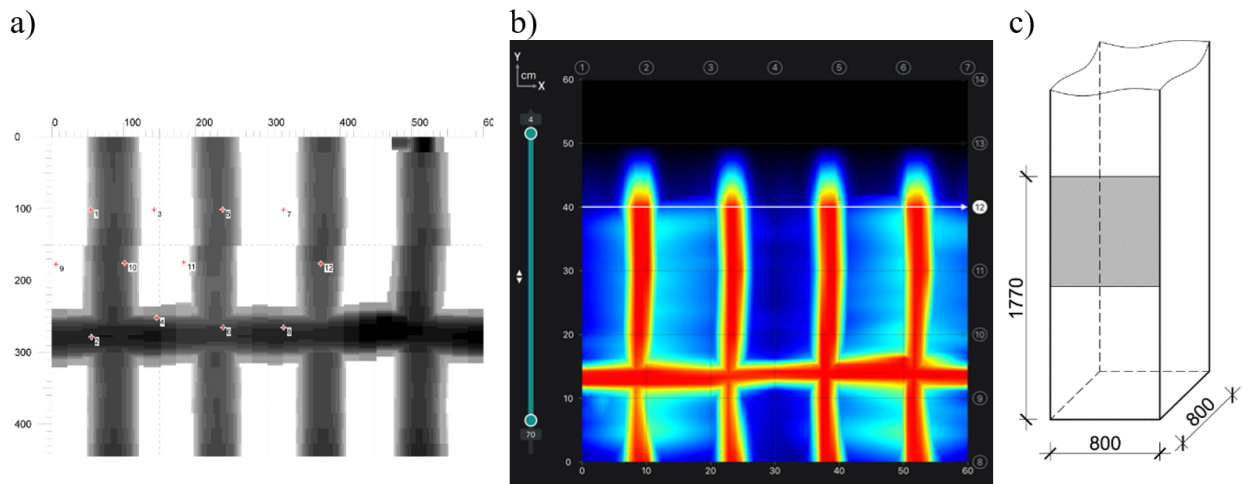
Na rys. 5a w skanie elektromagnetycznym widoczne są dobrze pręty poziome (bliźsze skanowanej krawędzi), natomiast na rys. 5b w skanie radarowym widoczne są dodatkowo wady wewnętrzne betonu w postaci pustek i raków.



Rys. 4. Porównanie metody elektromagnetycznej i radarowej. Skany wykonane urządzeniami: a) PS200 (metoda elektromagnetyczna), b) PS1000 (metoda radarowa)



Rys. 5. Porównanie metody elektromagnetycznej i radarowej. Skany wykonane urządzeniami: a) PS200 (metoda elektromagnetyczna), b) PS1000 (metoda radarowa)



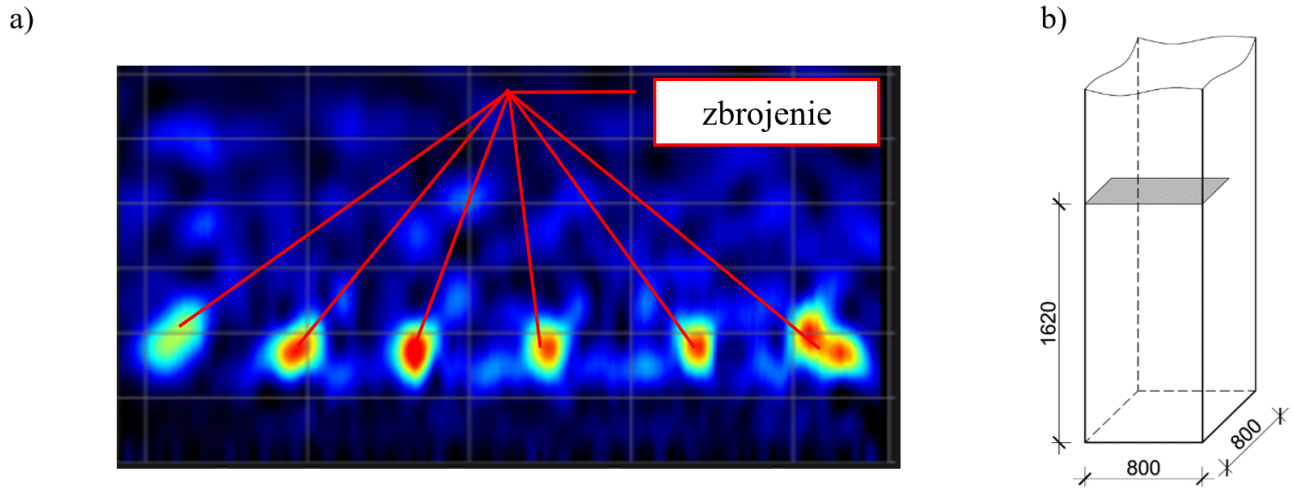
Rys. 6. Wyniki badań lokalizacji zbrojenia: a) urządzeniem elektromagnetycznym PS200, b) urządzeniem radarowym GPR Live, c) lokalizacja badania

6. Porównanie metody elektromagnetycznej, radarowej i badań tomografem ultradźwiękowym

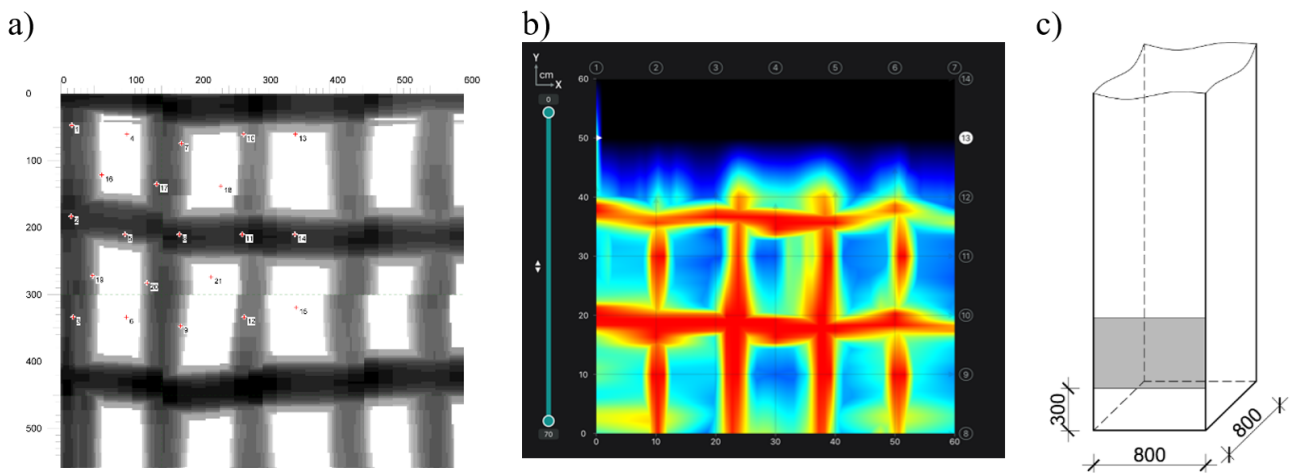
Na etapie określania stanu technicznego podszadki należy odrzucić domniemanie. Badania wykonano w kondygnacji podziemnej nowo wznoszonego budynku przemysłowego,

gdzie zabudowano 6 słupów o przekroju 80 x 80 cm i wysokości 5,4 m.

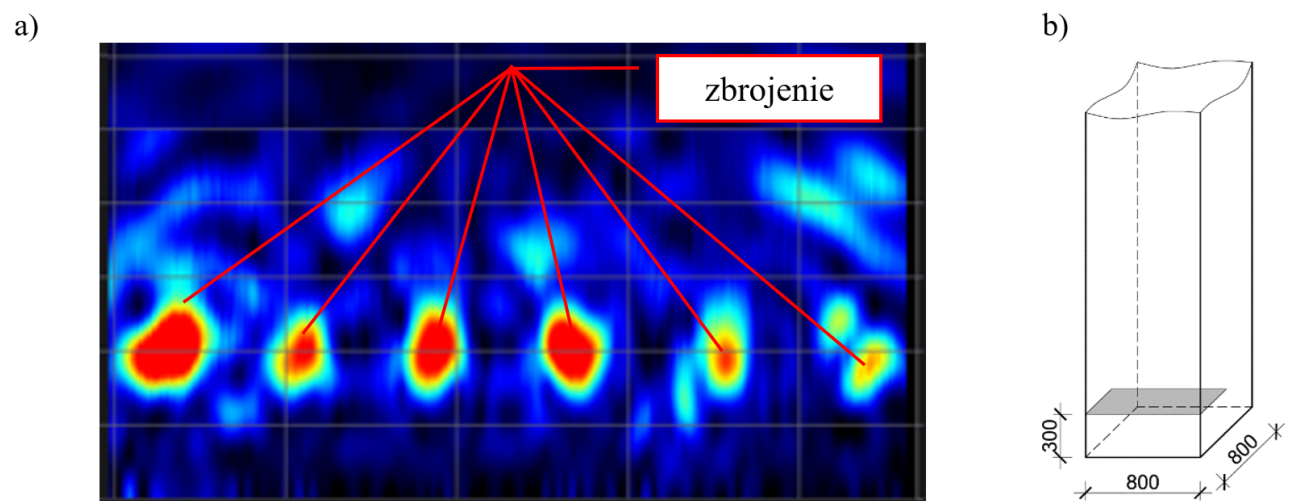
W badaniach wykorzystano skaner elektromagnetyczny PS200, tomograf ultradźwiękowy Pd 8000 i urządzenie radarowe GPR Live. Porównanie wyników badań pokazano na rys. 6 i rys. 7 oraz rys. 8 i rys. 9.



Rys. 7. Wyniki badań lokalizacji zbrojenia tomografem ultradźwiękowym Pd 8000, a) wynik badania, b) lokalizacja badania



Rys. 8. Wyniki badań lokalizacji zbrojenia: a) urządzeniem elektromagnetycznym PS200, b) urządzeniem radarowym GPR Live, c) lokalizacja badania



Rys. 9. Wyniki badań lokalizacji zbrojenia tomografem ultradźwiękowym Pd 8000, a) wynik badania, b) lokalizacja badania

Bezpośrednio porównać można wyniki badań elektromagnetycznych i radarowych, gdyż obrazują one tą samą płaszczyznę zbrojenia. W badaniach pokazanych na rys. 6 i rys. 8 uzyskano podobny obraz zbrojenia z obu metod. Badanie tomografem ultradźwiękowym również pozwoliło na dokładne określenie liczby prętów zbrojeniowych i lokalizacji ich położenia. Należy jednak zwrócić uwagę, że określenie średnicy prętów jest obecnie możliwe jedynie w urządzeniach bazujących na metodzie elektromagnetycznej.

7. Podsumowanie

Zaletą metody elektromagnetycznej jest możliwość określenia średnicy prętów badanego zbrojenia, a wadą ograniczenie badania tylko do pierwszego rzędu zbrojenia i mały zasięg metody (do kilku lub kilkunastu centymetrów). Zaletą metod radarowej i ultradźwiękowej jest możliwość wykrywania zbrojenia położonego głębiej, natomiast wadą brak możliwości pomiaru średnicy prętów. Badania radarowe i ultradźwiękowe umożliwiają ponadto wykrycie wad wewnętrznych struktury betonu.

Najlepsze efekty uzyskuje się zwykle stosując równocześnie kilka urządzeń bazujących na różnych metodach pomiarowych. Pozwala to często na wyeliminowanie błędów w interpretacji uzyskanych wyników.

8. Literatura

- [1] L. Runkiewicz, „Historia metod nieniszczących stosowanych w budownictwie polskim” *Badania Nieniszczące i Diagnostyka*, nr 3, s. 19-23, 2018.
- [2] L. Brunarski, „Kontrola zbrojenia w konstrukcjach żelbetowych. Metoda radiografii izotopowej” Instytut Techniki Budowlanej, Warszawa 1966.
- [3] L. Runkiewicz, „Badania konstrukcji żelbetowych” Biuro Gamma, Warszawa 2002
- [4] L. Brunarski, „Instrukcja stosowania metod radiograficznych do nieniszczących badań konstrukcji z betonu” ITB, Warszawa 1970
- [5] L. Brunarski, L. Runkiewicz, „Podstawy i przykłady stosowania metod nieniszczących w badaniach konstrukcji z betonu” *Prace Naukowe Instytutu Techniki Budowlanej*, Wydawnictwo

Instytutu Techniki Budowlanej, Warszawa 1983.

- [6] Ł. Drobiec, „Badania nieniszczące wykorzystywane w praktyce budowlanej” *Badania Nieniszczące i Diagnostyka*, nr 3, s. 76-80, 2018.
- [7] Ł. Drobiec, R. Jasiński, A. Piekarczyk, „Diagnostyka konstrukcji żelbetowych. Metodologia, badania polowe, badania laboratoryjne betonu i stali”, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2010.
- [8] K. Schabowicz, „Najnowsze metody nieniszczące wykorzystywane w badaniach w budownictwie” *Badania Nieniszczące i Diagnostyka*, nr 3, s. 48-51, 2018.
- [9] K. Schabowicz, „Ultrasonic tomography – The latest nondestructive technique for testing concrete members – Description, test methodology, application example” *Archives of Civil and Mechanical Engineering* 14 (2), pp. 295-303, 2014.
- [10] Ł. Drobiec, R. Jasiński, W. Mazur, „Accuracy of eddy-current and radar methods used in reinforcement detection” *Materials* vol. 12 iss. 7, pp. 1-24, 2019.
- [11] Ł. Drobiec, „Określenie parametrów stali zbrojeniowej w konstrukcji”. XXIX Ogólnopolskie Warsztaty Pracy Projektanta Konstrukcji. Szczyrk, 26-29 marca 2014 r., tom I, s. 181-256, 2014.



Prof. dr hab. inż. Łukasz Drobiec
jest zatrudniony na Wydziale
Budownictwa Politechniki Śląskiej.