

Skanowanie konstrukcji, wykorzystanie metody prądów wirowych i georadarowej do celów lokalizacji i detekcji zbrojenia

Mgr inż. Stefan Giryn, Diagnostyka konstrukcji

1. Wprowadzenie

Modernizacje obiektów budowlanych i adaptacje, którym często towarzyszy zmiana funkcji, a co za tym idzie zmiana obciążeń użytkowych, to coraz częstsza praktyka na krajowym rynku budowlanym. Szczególnie w przypadku starszych obiektów często mamy do czynienia z brakiem dokumentacji archiwalnej lub z istotnymi odstępstwami w stosunku do zachowanej dokumentacji. W takich wypadkach przed przystąpieniem do prac projektowych, czy wykonawczych konieczne jest ustalenie, jak zbudowany jest obiekt. Coraz częściej także ze względu na panujący w trakcie procesu inwestycyjnego pośpiech drobne zmiany projektowe są wprowadzane już w trakcie budowy. W takich sytuacjach często jest konieczne wykorzystanie techniki cięcia, czy wiercenia diamentowego w żelbecie np. w celu wykonania zakotwień, czy nieplanowanych wcześniej przejść instalacyjnych.

Jednym z podstawowych badań nieniszczących pozwalających na określenie nośności, możliwości wzmocnienia elementów konstrukcyjnych, czy wykonania w nich przekuła i przewiertów jest skanowanie konstrukcji. W niniejszym artykule przedstawiono wykorzystanie do skanowania konstrukcji metody prądów wirowych (*Eddy Current* – EC) i georadarowej (*Ground Penetrating Radar* – GPR), umożliwiające nieniszczącą detekcję i lokalizację przebiegu zbrojenia, pomiary jego otuliny, np. do celów opinii i ekspertyz technicznych, inspekcji jakości wykonania robót żelbetowych np. do oceny bezpieczeństwa przeciwpożarowego, czy też wskazania bezpiecznych miejsc wiercenia w żelbecie.

2. Metoda prądów wirowych (Eddy Current) i georadarowa (GPR)

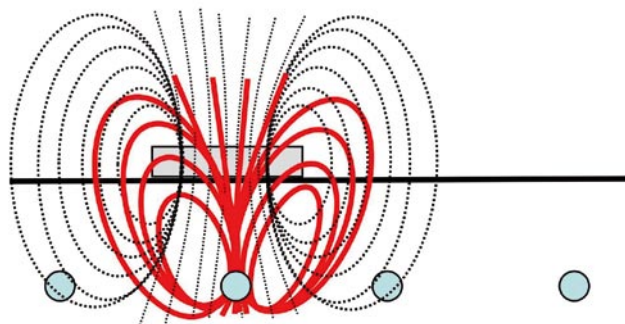
Pośród znanych metod lokalizacji i detekcji największą popularnością cieszą się metody elektromagnetyczne, takie jak metoda prądów wirowych (EC) i georadarowa (GPR). Są one coraz częściej wykorzystywane ze względu na stosunkowo nieskomplikowany proces pomiarowy. Co za tym idzie skanowanie konstrukcji metodami elektromagnetycznymi umożliwia uzyskanie względnie niskiej ceny jednostkowej badania. W przypadku najwyższej klasy urządzeń pomiarowych



Rys. 1. Wstępne wyniki można przeanalizować w trakcie badania lub zaraz po jego przeprowadzeniu na ekranie urządzenia

badania te pozwalają uzyskać bardzo wysoką dokładność pomiarów. Niemniej istotny jest fakt, że wstępny podgląd wyników jest możliwy w trakcie badań lub też zaraz po ich wykonaniu, co daje możliwość podjęcia niektórych decyzji związanych z rezultatami badań in situ.

Chociaż obie omawiane metody zaliczają się do elektromagnetycznych metod detekcji, to ich działanie opiera się na innych zasadach. W pierwszej z nich, metodzie prądów wirowych, pomiar polega na analizie zmiany indukowanych prądów wirowych w przypadku położenia skanera nad obiektami ferromagnetycznymi w betonie lub z dala od nich (rys. 2). W ten sposób działa zdecydowana większość urządzeń wykrywających zbrojenie, od najprostszych detektorów przez

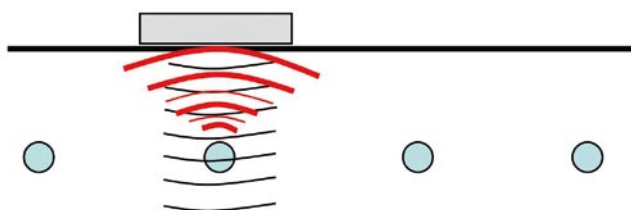


Rys. 2. Schemat ideowy działania urządzeń opartych o metodę prądów wirowych (*Eddy Current*)

nieco bardziej złożone urządzenia lokalizujące zbrojenie, określające grubość otuliny i średnicę prętów (jak np. starsze modele Proceq Profometer, Proceq Profoscope czy Elcometer serii 331) po najbardziej zaawansowane skanery zbrojenia na rynku jak np. Hilti Ferroskan PS200 i PS300, czy Proceq Profometer 650AI, które są w stanie także zwizualizować przebieg zbrojenia w badanym elemencie.

Głównym ograniczeniem tego typu systemów pomiarowych jest istota ich działania, jako że pomiar polega na analizie zmiany pola elektromagnetycznego emitowanego przez skaner, to mamy możliwość wykrycia jedynie ferromagnetycznych obiektów w betonie. I chociaż pręty zbrojeniowe urządzenia tego typu wykrywają z bardzo dużą dokładnością, a także niemalże bezbłędnie określają ich otulenie, a zaawansowane systemy nawet szacują średnicę prętów, to istota działania sprzętu powoduje, że nie wykryjemy nim np. coraz powszechniejszego zbrojenia kompozytowego, czy pustek w betonie, a elementy ferromagnetyczne w pierwszej warstwie uniemożliwiają detekcję kolejnych ich warstw.

Badanie metodą georadarową GPR polega na emisji przez antenę nadawczą w kierunku badanej konstrukcji fali elektromagnetycznej (radarowej) i analizie zarejestrowanej fali odbitej od elementów o zmiennych właściwościach dielektrycznych (rys. 3).



Rys. 3. Schemat ideowy działania urządzeń opartych o metodę georadarową (Ground Penetrating Radar)

W związku z powyższym systemy lokalizowania i detekcji oparte o tę metodę (np. Hilti X-Scan PS1000, GSSI Structure Scan z serii Mini, czy Mala z serii CX) są w stanie wykryć nie tylko elementy ferromagnetyczne w betonie, a także elementy niemetaliczne, takie jak np. zbrojenie z prętów kompozytowych, peszle z przewodami lub kablami sprężającymi czy większe pustki w betonie. Co więcej, w odpowiednich warunkach możliwe jest także zarejestrowanie granicy ośrodka, w którym dokonujemy pomiaru, czyli pomiar grubości elementu konstrukcyjnego przy dostępie jednostronnym. Oznacza to, że zakres detekcji jest znacznie szerszy względem urządzeń opierających się na metodzie prądów wirowych. Chociaż w przeciwieństwie do skanerów opartych o metodę prądów wirowych lokalizacja, czy określenie otuliny nie jest tak dokładne w przypadku obiektów ferromagnetycznych, a oszacowanie ich średnicy jest niemożliwe, to wykrywanie także niemetalicznych obiektów, a przede wszystkim możliwość detekcji w sprzyjających warunkach nawet kilku warstw obiektów powoduje, że metoda georadarowa szybko zyskuje zwolenników.

3. Tryby skanowania, skany liniowe, a obrazowe

Należy zauważyć, że w przypadku większości urządzeń do skanowania niezależnie od metody działania czy producenta sprzętu wyróżniamy dwa podstawowe tryby skanowania.

Skanowanie liniowe, tj. tryb, w którym wykonujemy przejazd skanerem w linii, podczas którego skaner zbiera dane dotyczące obiektów znajdujących się prostopadłe do niego w trakcie przejazdu. Efektem pomiaru w przypadku metody prądów wirowych jest profil z widoczną siłą sygnału (rys. 4) świadcząca o obecności prętów zbrojeniowych lub w przypadku metody georadarowej, tzw. radargram lub falogram (rys. 5).

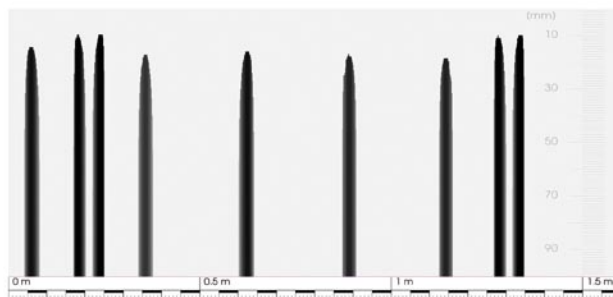
Skanowanie obrazowe lub jak kto woli skanowanie powierzchniowe to tryb, w którym kolejne przejazdy skanera w poziomie (wiersze) i pionie (kolumny) oprogramowanie łączy w obraz 2D lub 3D. W przypadku większości urządzeń obraz ten ma wymiary 60x60 cm lub wielokrotność. Obraz taki pozwala na najdokładniejszą ocenę przebiegu zbrojenia w betonie.

4. Wyniki uzyskane skanowaniem różnymi metodami pomiarowymi

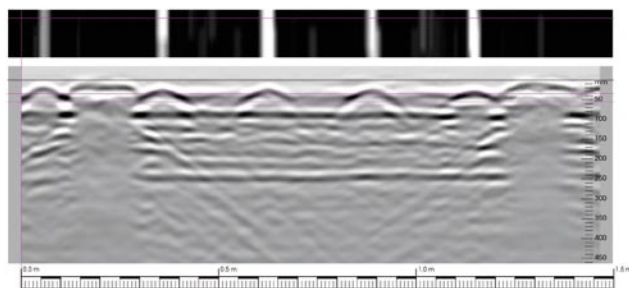
Bezpośrednie porównanie skanów wykonanych w tym samym miejscu odpowiednio Ferroskanem PS200 (EC) i X-Scanem PS1000 (GPR) pozwoli najlepiej zrozumieć różnice pomiędzy metodami skanowania.

Skany liniowe przedstawione na rysunkach zostały wykonane do celów ekspertyzy technicznej stropu kamienicy z lat 40. ubiegłego wieku, skanowanie przeprowadzono od spodu stropu płaskiego odcinkowego na belkach stalowych w poprzek tych belek. Główną konstrukcją nośną tego stropu stanowią belki dwuteowe IPN180 w rozstawie osiowym 110 cm. Na ich dolnych półkach jest oparta płyta żelbetowa o grubości 8 cm, a nad tą płytą znajduje się wypełnienie z gruzu/tłuczni ceglanego zespolonego zaprawą cementową o grubości 10 cm, tj. mniej więcej do wierzchu dwuteowników stalowych. Następnie są ułożone warstwy wykończeniowe, jastrych cementowy i gres na kleju.

Jak widać, skanowanie liniowe wykonane metodą prądów wirowych (rys. 4) pozwala określić wyłącznie rozmieszczenie prętów zbrojeniowych oraz belek (charakterystyczne



Rys. 4. Skan liniowy stropu odcinkowego na belkach stalowych uzyskany skanowaniem metodą prądów wirowych (Ferroskan PS200)



Rys. 5. Skan liniowy uzyskany skanowaniem metodą georadarową (X-Scan PS1000)

podwójne sygnały). Taki skan pozwala także na bardzo dokładny pomiar otuliny, a w przypadku urządzeń takich jak Proceq Profometer 650AI, czy Hilti Ferroskan PS300 także na oszacowanie średnicy wykrytych prętów zbrojeniowych.

W przypadku skanu liniowego wykonanego metodą georadarową (rys. 5) wyraźnie widoczne są hiperboliczne załamania fali od prętów zbrojeniowych równoległych do belek, dwa silne sygnały od dwuteowych belek, a także granice zmiany ośrodka; tylna ścianka płyty żelbetowej na głębokości około 8 cm i wierzch stropu na około 25 cm.

Skany obrazowe przedstawione na rysunkach zostały wykonane do celów wyznaczenia bezpiecznego miejsca wierceń pod zakotwienia wzmocnienia stropu w budynku użyteczności publicznej. Jak widać, w przypadku skanów obrazowych na pierwszy rzut oka różnice nie są aż tak duże, rysunek 6 przedstawia obraz zbrojenia uzyskany ze skanera działającego w oparciu o metodę indukcji elektromagnetycznej prądów wirowych – EC (w tym wypadku jest to obraz uzyskany skanowaniem betonu systemem lokalizacji i detekcji Ferroskan PS200). Skany obrazowe charakteryzują się tym, że pozostawiają znacząco mniejsze pole do ewentualnych błędów w interpretacji niż skany liniowe. W przypadku skanu, o którym mowa, wyraźnie jest widoczna regularna siatka zbrojenia o oczku 15x10 cm.

Obraz na rysunku 7 to skan uzyskany skanowaniem georadarem do betonu o wysokiej częstotliwości środkowej – GPR (obraz uzyskany skanowaniem betonu georadarem Hilti X-Scan PS1000 – 3 anteny, 5 ścieżek przy jednorazowym przejeździe, częstotliwość środkowa 2,0 GHz). Krótki, przebiegający pod niewielkim kątem względem zbrojenia pionowego obiekt, a także poziomy obiekt między dwoma pierwszymi od góry poziomymi prętami nie zostały wykryte skanowaniem Ferroskanem PS200, natomiast są wyraźnie widoczne w przypadku skanowania wykonanego X-Scanem PS1000. Oznacza to, że albo nie są to obiekty o właściwościach ferromagnetycznych, albo że blisko siebie położone pręty uniemożliwiają ich detekcję w przypadku metody prądów wirowych.

W przypadku wykorzystania do celów skanowania konstrukcji różnych metod pomiarowych bardzo istotna jest możliwość jednoczesnej analizy danych uzyskanych skanowaniem różnymi urządzeniami. Za sprawą nowoczesnego oprogramowania, takiego jak np. Profis Detection Office, możliwe jest

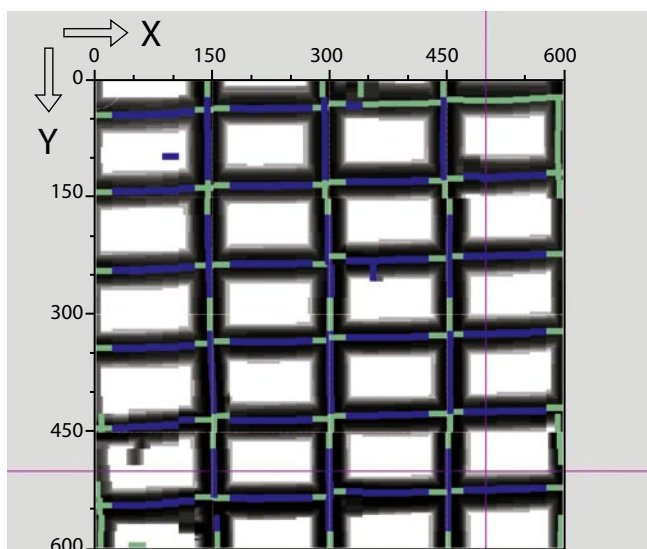
połączenie i nałożenie na siebie wyników uzyskanych skanarami konstrukcji działającymi w oparciu o obie omawiane metody. Przykładowo (rys. 8) to obraz skanowania powstały z połączenia, nałożenia na siebie wyżej prezentowanych wyników. Jak wykazano, wykorzystanie do skanowania metody prądów wirowych i georadarowej pozwala oprócz lokalizacji obiektów także na sklasyfikowanie ich jako metalicznych lub niemetalicznych, a także na skorelowanie głębokości ich położenia. Przy czym określenie głębokości położenia obiektów w przypadku metody georadarowej umożliwia ustalenie stałej dielektrycznej skanowanego betonu z wysoką dokładnością. Jest to często niezmiernie istotne w wypadku skanowania betonu do celów analiz konstrukcyjnych, ponieważ pozwala na podstawie skanowania georadarem dość dokładnie oszacować grubość elementów żelbetowych przy dostępie jednostronnym.

5. Wyznaczenie bezpiecznego miejsca wiercenia

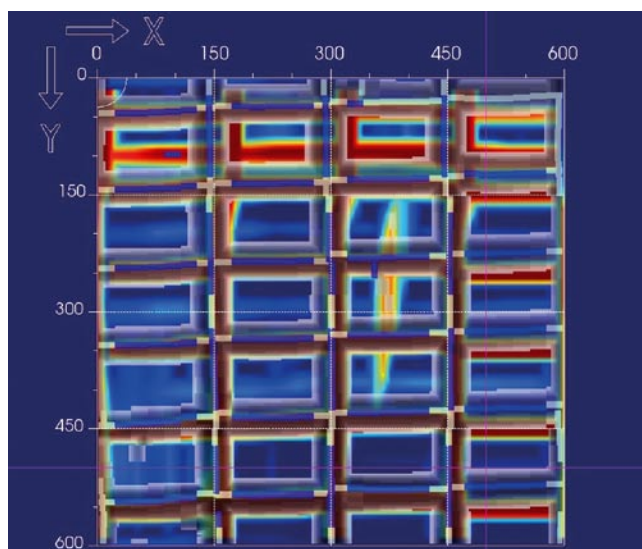
O ile w pewnych przypadkach przecięcie pojedynczych prętów zbrojenia pozostaje bez większego wpływu na bezpieczeństwo i trwałość konstrukcji, o tyle wiercenie np. w stropach sprężonych bez uprzedniej detekcji i lokalizacji zbrojenia powinno być surowo wzbronione, ponieważ przecięcie kabla sprężającego może prowadzić do awarii. Podobnie jest w przypadku innych odpowiedzialnych elementów konstrukcyjnych, takich jak np. płaszczyzny czy płyty denne zbiorników, płyty transferowe nad garażami, wyteżone stropy itd.

Oprócz ryzyka związanego z przecięciem prętów zbrojeniowych, czy kabli sprężających, a więc ryzykiem osłabienia elementu konstrukcyjnego w trakcie wiercenia bez wcześniejszego wyznaczenia przebiegu obiektów w betonie może dojść także do uszkodzenia segmentów wiertła diamentowego i konieczności ich wymiany, porażenia prądem w przypadku przecięcia kabli pod napięciem, czy zniszczenia za betonowanych instalacji.

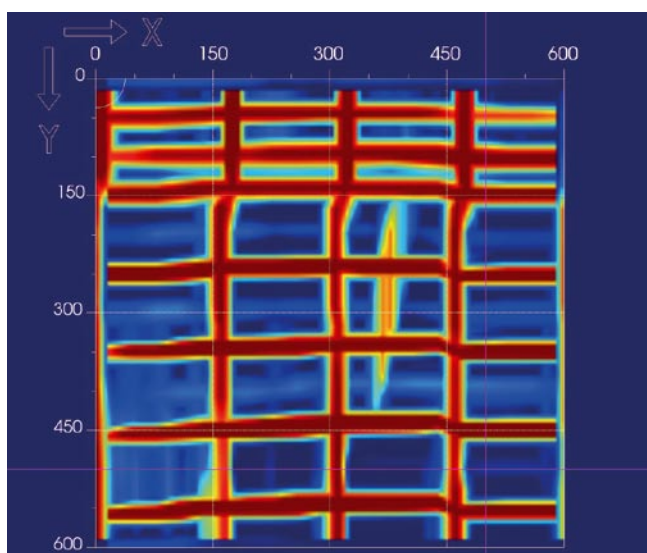
Zaawansowane systemy lokalizacji i detekcji działające w oparciu o metodę prądów wirowych lub georadarową pozwalają określić z bardzo dużą dokładnością przebieg zbrojenia w elemencie, a następnie np. wytrasować je na powierzchni betonu, tak aby wiercenie we wskazanym miejscu było bezpieczne zarówno z punktu widzenia stateczności konstrukcji, jak też BHP. Tak jak przedstawiono wcześniej, wykorzystanie metody georadarowej pozwala wykryć nie tylko pręty zbrojeniowe i kable sprężające w betonie, ale także wszelkie inne obiekty o stałej dielektrycznej wyraźnie innej niż beton, w związku z czym metoda ta lepiej nadaje się do celów trasowania przebiegu obiektów w betonie. Poprawne jej użycie umożliwia wyznaczenie miejsca wiercenia, tak aby uniknąć uszkodzenia zbrojenia, kabli sprężających, czy instalacji w betonie. Co istotne, oprogramowanie komputerowe daje możliwość zwizualizowania planowanych wierceń wraz z ich średnicą i głębokością w widoku 3D (rys. 9).



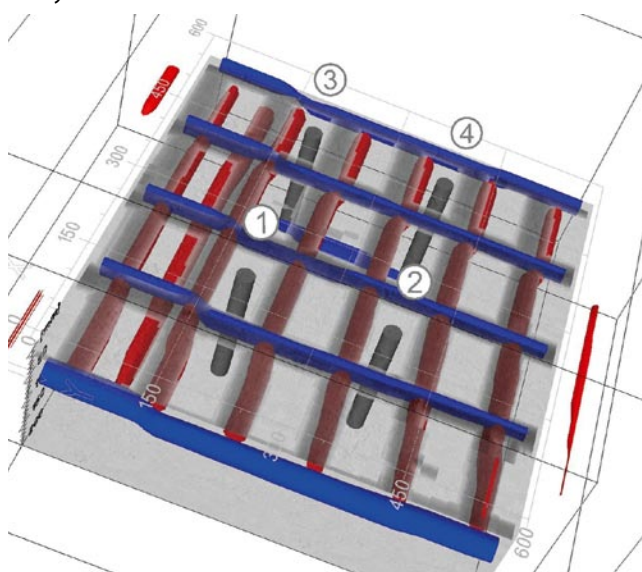
Rys. 6. Skan obrazowy uzyskany skanowaniem metodą prądów wirowych (Eddy Current)



Rys. 8. Połączenie obrazów skanowania uzyskanych obiema omawianymi metodami



Rys. 7. Skan obrazowy, Imagescan uzyskany skanowaniem metodą georadarową (GPR)



Rys. 9. Otrzymane wyniki skanowania w widoku 3D, wraz z wizualizacją wyznaczonych, bezpiecznych miejsc wiercenia

6. Podsumowanie

Pomimo zasadniczych różnic pomiędzy przedstawionymi metodami skanowania trudno mówić o przewadze jednej z nich. Metoda indukcji elektromagnetycznej prądów wirowych i georadarowa uzupełniają się. Wykorzystanie zalet obu z nich, a także dedykowanego specjalistycznego oprogramowania daje możliwość miarodajnego wyznaczenia położenia obiektów w betonie metodami nieniszczącymi przy zachowaniu racjonalnych kosztów.

Zaprezentowane w artykule skanowania porównawcze pozwalają stwierdzić, że doświadczony operator potrafiący przeanalizować uzyskane skanowaniem wyniki przy wykorzystaniu obu omówionych metod jest w stanie nie tylko wykryć w betonie obiekty, których nie dałoby się zlokalizować, wykonując pomiary wyłącznie jedną z nich,

a także sklasyfikować je w oparciu o uzyskany rodzaj sygnału. Mając na uwadze powyższe, przystępując do skanowania konstrukcji, należy brać pod uwagę ograniczenia sprzętowe wynikające z metodologii pomiaru i jeżeli tylko jest taka możliwość, zaleca się wykonanie pomiarów obiema metodami.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Runkiewicz L., Diagnostyka obiektów budowlanych, Zasady wykonywania ekspertyz, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2020
- [2] Drobiec Ł., Jasiński R., Piekarczyk A., Diagnostyka konstrukcji żelbetonowych, Metodologia, badania polowe, Badania laboratoryjne betonu i stali, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2010
- [3] Strona internetowa firmy Diagnostyka konstrukcji, www.diagnostyka-konstrukcji.pl (dostęp 01.08.2021)
- [4] Materiały własne firmy Diagnostyka konstrukcji
- [5] Materiały szkoleniowe i reklamowe firmy Hilti