

ZASTOSOWANIE METODY GEORADAROWEJ DO BADAŃ KONSTRUKCJI ŻELBETOWYCH

Jacek Lachowicz

II stopień, 3 semestr, Politechnika Gdańska
Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska
e-mail: jaclacho@student.pg.gda.pl

Promotor: *dr hab. inż.* Magdalena Rucka

Słowa kluczowe: *metoda GPR, georadar, diagnostyka, konstrukcje żelbetowe*

1. WSTĘP

Metoda GPR (ang. Ground Penetrating Radar) jest techniką elektromagnetyczną, która wykorzystuje zasadę propagacji fal elektromagnetycznych w celu lokalizacji danego elementu. Jego podstawowa zasada działania jest analogiczna do radaru wykrywającego samoloty, jednak zamiast wykonywania obrotu wokół własnej osi, georadar przesuwany jest po badanym obszarze.

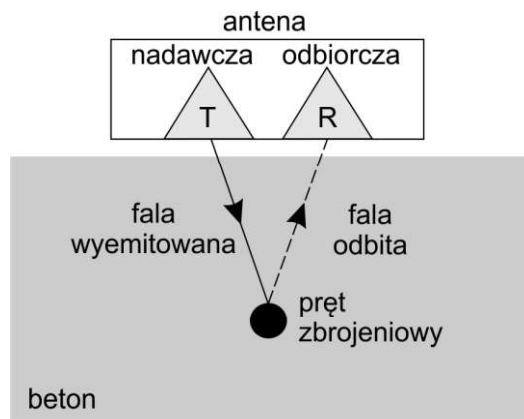
Metoda georadarowa jest jedną z wielu metod należących do badań nieniszczących (NDT – ang. Non-Destructive Testing) w diagnostyce konstrukcji. Dzięki temu, że badanie nie powoduje zniszczeń, georadar jest chętnie wykorzystywany w geologii, archeologii czy budownictwie. Istnieje wiele publikacji na tematy związane z badaniem obiektów zabytkowych [5], konstrukcji żelbetowych [1, 9], mostów [2], dróg itp. Metoda georadarowa pozwala na ocenę wyników już w czasie badania, dlatego doskonale sprawdza się w lokalizacji infrastruktury podziemnej, tj. kabli, rur, pustek i kawern [4]. Pomiaru są wydajne i szybkie, pozwalają na dokładne określenie głębokości położenia zidentyfikowanego obiektu w danym ośrodku, a także jego wymiarów i kształtu.

Celem niniejszego artykułu jest diagnostyka prefabrykowanej płyty żelbetowej za pomocą metody GPR. Badanie wykonano w celu ustalenia ilości i rozkładu zbrojenia konstrukcji oraz porównania zidentyfikowanej siatki zbrojeniowej z projektem płyty. Przeanalizowano dwa typy badań. Jedno przy użyciu specjalnej maty PSG dla pomiarów jedynie wzdłużnych oraz drugie, w którym wykonano skany podłużne jak i poprzeczne. Porównano wpływ przyjętej metodologii badań na uzyskane wyniki. Konstrukcję sprawdzono również pod kątem ewentualnych pustek czy uszkodzeń betonu.

2. PODSTAWY TEORETYCZNE METODY GEORADAROWEJ

Metoda georadarowa opiera się na wysyłaniu do konstrukcji krótkiego impulsu fali elektromagnetycznej o czasie zbliżonym do 1 ns. Antena nadawcza wysyła sygnał przenikający ba-

dany ośrodek. Fala przechodzi przez granicę kolejnych materiałów, które różnią się właściwościami elektrycznymi (przewodność elektryczna i stała dielektryczna). Część sygnału przenika w głąb ośrodka, natomiast pozostała część ulega odbiciu, bądź rozproszeniu. Odbita fala rejestrowana jest przez antenę odbiorczą. Schemat działania prezentuje Rys. 1.



Rysunek 1: Zasada działania georadaru

Jednym z ważniejszych parametrów georadaru jest prędkość propagacji fali elektromagnetycznej. Uzależniona od przenikalności elektrycznej ośrodka jest cechą sygnału. Dla powietrza przyjmuje się, iż fala elektromagnetyczna propaguje z prędkością światła $c = 30 \text{ cm/ns}$. Natomiast dla ośrodków homogenicznych izotropowych prędkość fali EM oblicza się według wzoru [7]:

$$v = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon_r}}, \quad (1)$$

gdzie ε_r jest przenikalnością elektryczną ośrodka. W przypadku, gdy przenikalność elektryczna nie jest znana, obliczenie prędkości ze wzoru nie jest możliwe. W takich sytuacjach zaleca się wykonać badania prędkości propagacji fali w badanym ośrodku.

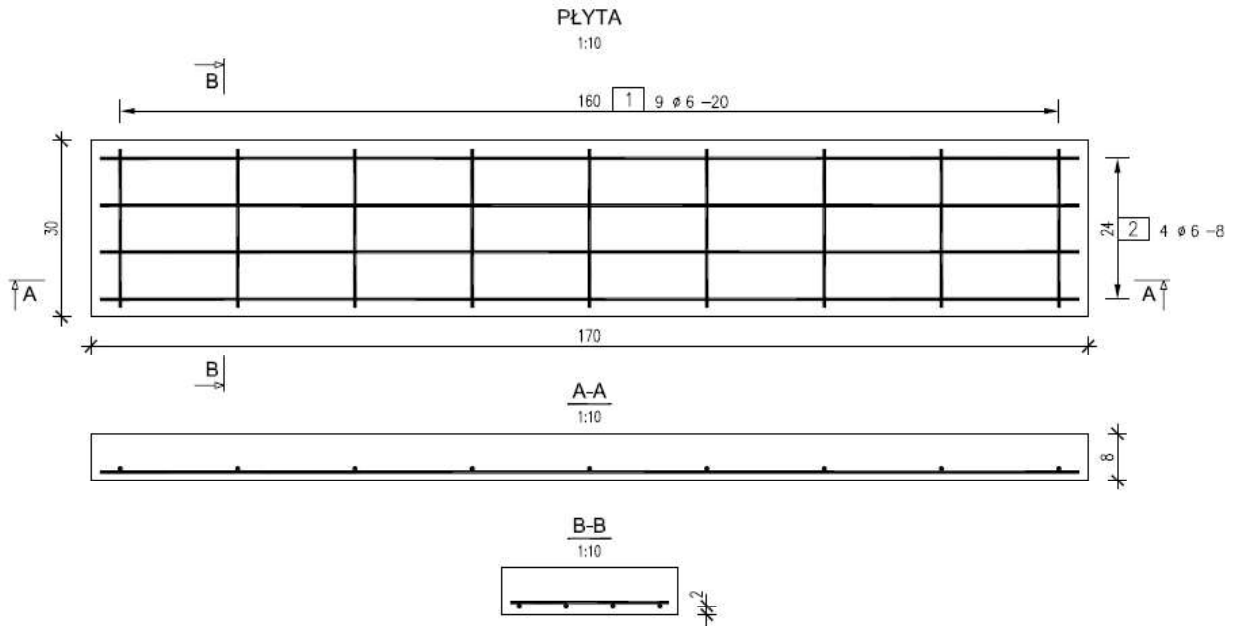
Podstawowym zobrazowaniem używanym w metodzie GPR jest tzw. skan typu B, składający się z poszczególnych sygnałów czasowych zarejestrowanych w kolejnych punktach przesłoni, tworzących plan czasowo-przestrzenny. Gdy georadar zbliża się do elementu różniącego się właściwościami elektrycznymi od ośrodka, odległość maleje. To skutkuje zmniejszeniem się czasu powrotu fali do anteny odbiorczej. W wyniku połączenia punktów zawierających informacje o odległości od elementu w poszczególnych położeniach georadaru powstaje parabola, która odzwierciedla element na mapie georadarowej [3].

3. BADANIA DOŚWIADCZALNE

3.1. Przedmiot badań

Badanie metodą georadarową przeprowadzono na prefabrykowanej płycie żelbetowej, wykonanej na zlecenie Katedry Mechaniki Budowli i Mostów Politechniki Gdańskiej do badań naukowych. Projekt płyty (Rys. 2) przewidywał cztery pręty główne $\phi 6$ w rozstawie 8 cm oraz zbrojenie poprzeczne w postaci dziewięciu prętów $\phi 6$ w rozstawie 20 cm. Do badań użyto georadaru Alladin, włoskiej firmy IDS. W skład użytego zestawu wchodzi: jednostka sterująca, akumulator, antena oraz przenośny komputer. Ponadto dodatkowym wyposażeniem jest specjalnie opatentowana mata badawcza Pad Survey Guide (PSG) o wymiarach

2 m x 1 m, która ułatwia wykonanie równoległych skanów, dzięki szeregowi rowków w rozstawie 0,78 cm (Rys. 3).



Rysunek 2: Projekt badanej płyty żelbetowej



Rysunek 3: Specjalna mata PSG Alladin do wykonywania dokładnych pomiarów georadarowych

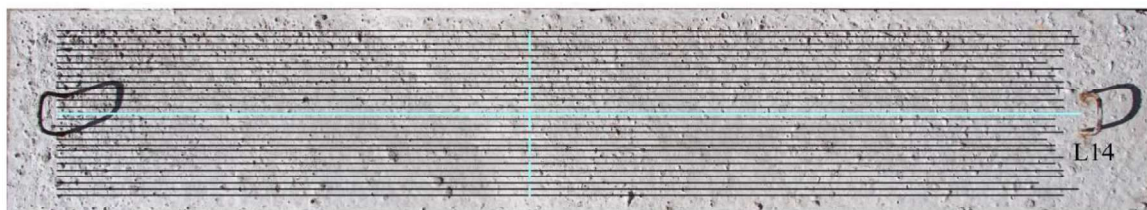
3.2. Metodyka badań

Normy techniczne dotyczące badań konstrukcji żelbetowych metodą georadarową nie zostały dotychczas opracowane [3], dlatego też, każde badanie wymaga indywidualnego podejścia. Metoda GPR wymaga odpowiedniego zaprojektowania, przygotowania oraz ustalenia parametrów pomiarowych. Bardzo istotnym parametrem jest ustalenie prędkości fali elektromagnetycznej w ośrodku. Na podstawie danych literaturowych przyjęto dla betonu prędkość 10 cm/ns [6].

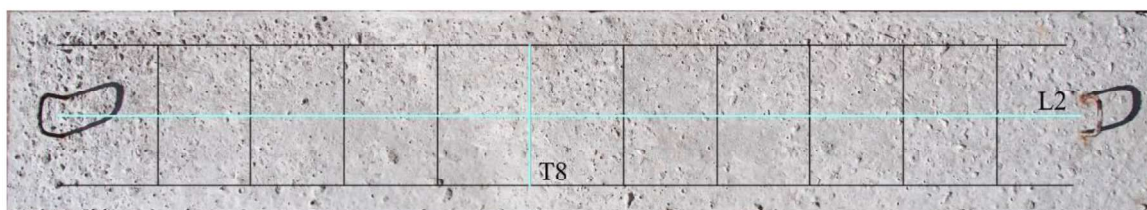
Na płycie wykonano dwa typy pomiarów. Przebieg wykonanych skanów ukazuje Rys. 4. Istniejące uchwyty transportowe uniemożliwiły przeskanowanie całości płyty, dlatego też skany

wykonano między uchwytami. W badaniu nr 1 (Rys. 5) wykorzystano matę PSG wykonując 27 skanów podłużnych, co 0,78 cm. Dzięki takiemu pomiarowi istnieje możliwość uzyskania tomografii badanej powierzchni na żądanej głębokości. Tak gęsty pomiar zapewnia również możliwość wygenerowania skanów poprzecznych przez oprogramowanie georadaru. W badaniu nr 2 (Rys. 6) wykonano pomiary zarówno podłużne (3 skany co 9 cm), jak i poprzeczne (10 skanów co 12 cm) bez użycia maty PSG. Taki typ badania zmniejsza czas pomiaru, jednakże przy takiej siatce profili uzyskanie tomografii jest niemożliwe.

a)



b)



Rysunek 4: Przebieg wykonanych skanów: a) badanie nr 1: skany podłużne z wykorzystaniem maty PSG b) badanie nr 2: skany podłużne i poprzeczne bez użycia maty PSG



Rysunek 5: Stanowisko pomiarowe w badaniach płyty żelbetowej z wykorzystaniem maty PSG (badanie nr 1)



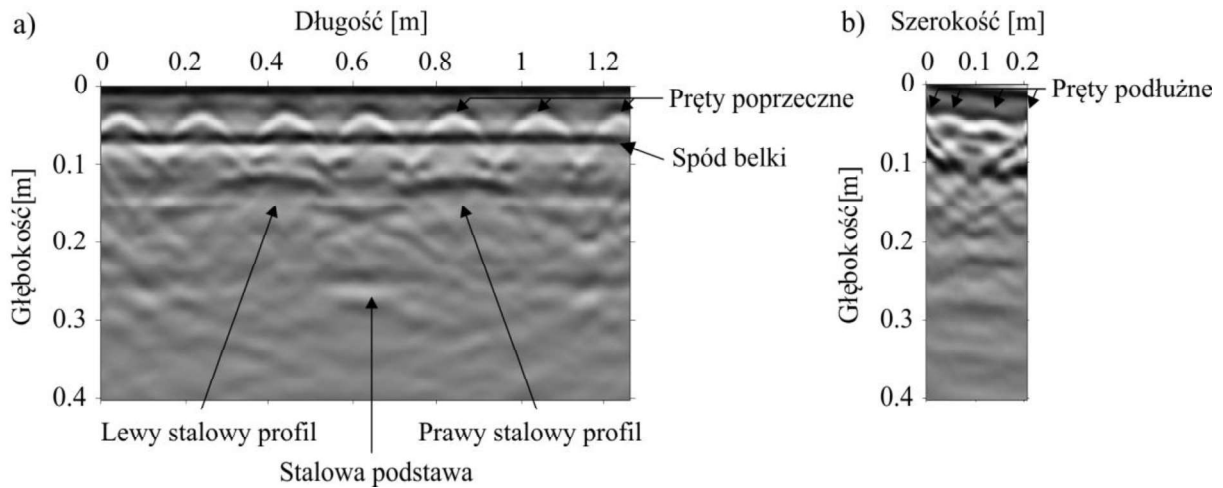
Rysunek 6: Stanowisko pomiarowe w badaniach płyty żelbetowej bez wykorzystania maty PSG (badanie nr 2)

3.3. Analiza wyników

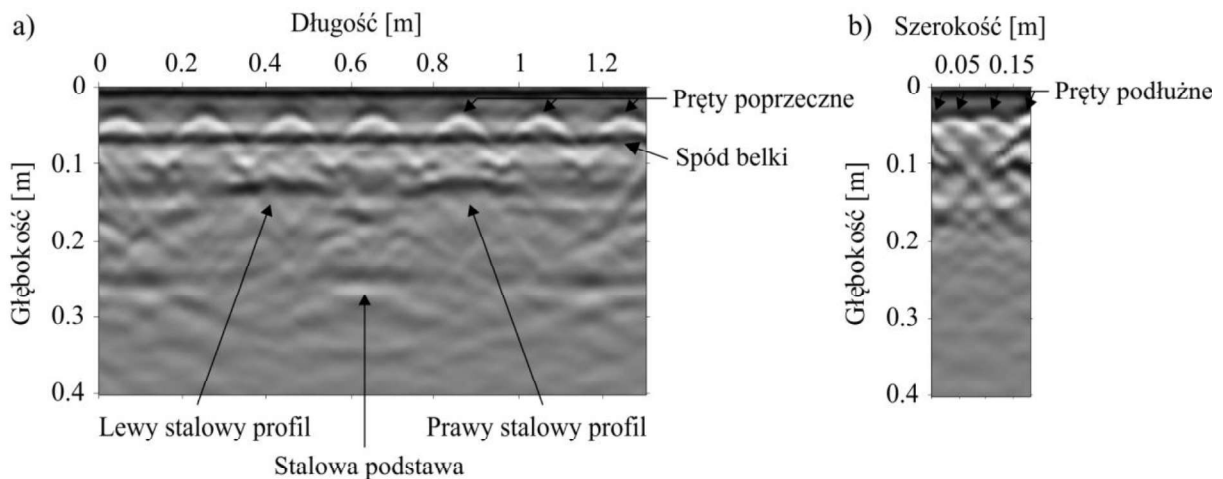
W celu uzyskania lepszej jakości skanów i przedstawienia wyników uzyskane dane georadarowe poddano w programie GRED HD różnym filtrom i wzmacnieniom [8]:

- move start time – algorytm używany do uzyskania głębokości mapy georadarowej zgodnej z faktycznym poziomem terenu,
- smoothed gain – wzmacnienie wygładzające.

Rysunek 7 ilustruje wybrane mapy georadarowe, podłużną (L14) i poprzeczną (T43), dla badania nr 1. Profil podłużny L14 ukazuje 7 prętów poprzecznych (w postaci siedmiu parabol), w rozstawie 20 cm, na głębokości ok. 4 cm. Na skanie poprzecznym T43, który dzięki interpolacji danych z anteny bipolarnej został wygenerowany przez program GRED HD, dobrze widoczne są 4 pręty podłużne w średnim rozstawie 8 cm na głębokości ok. 5 cm. Na profilu podłużnym wykryto również inne anomalie, które pojawiły się na mapie ze względu na usytuowanie płyty (Rys. 6). Dodatkowe odbicia spowodowały dwa profile stalowe oraz stalowa podstawa, które nie są częścią płyty, ale ze względu na to, że znajdują się w zasięgu penetracji fali elektromagnetycznej, są widoczne na skanie. Odpowiedniki profili (L2 i T8) wykonane w badaniu nr 2 (Rys. 8) potwierdzają jednoznacznie wcześniej ustaloną siatkę zbrojeniową. Można jednocześnie zauważyć, że skan poprzeczny (T8) jest znacznie lepszej jakości od profilu wygenerowanego przez program GRED HD z badania nr 1. W szczególności dużo wyraźniejsze są odbicia od głównego zbrojenia płyty. Poza tym nie wykryto żadnych uszkodzeń czy też pustek powietrznych w betonie, a zidentyfikowana siatka zbrojeniowa w pełni odwzorowuje projekt badanej płyty.



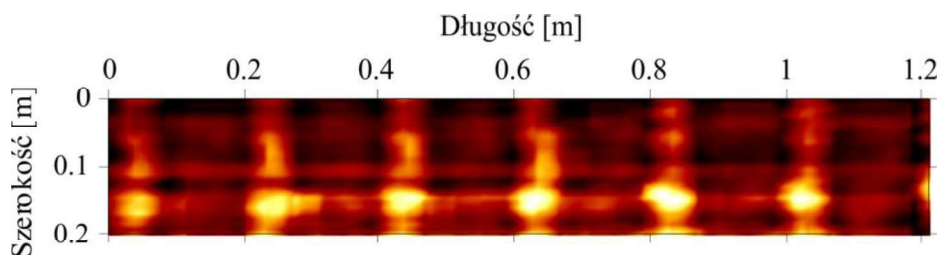
Rysunek 7: Mapa georadarowa w badaniu nr 1 (skany jedynie podłużne) a) skan podłużny (L14) b) skan poprzeczny (T43) wygenerowany przez oprogramowanie georadaru



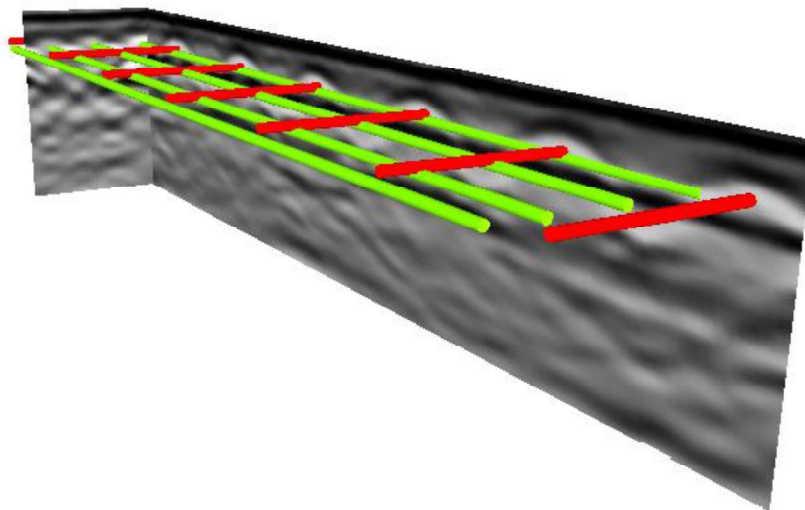
Rysunek 8: Mapa georadarowa w badaniu nr 2 (skany podłużne i poprzeczne) a) skan podłużny (L2) b) skan poprzeczny (T8)

Badanie z gęstym profilowaniem podłużnym, dzięki znajdującym się bardzo blisko siebie danym z anteny bipolarnej, umożliwia wykonanie tomografii (rzutu) badanej powierzchni na zadanej głębokości. W celu ukazania ortogonalnej siatki zbrojeniowej, do analizy przyjęto dane georadarowe z badania nr 1, na których to podstawie wykonano tomografię na głębokości wykrytych prętów zbrojeniowych (Rys. 9).

Dzięki oprogramowaniu GRED HD wrysowano w widoczne na skanach poprzecznych i podłużnych parabole wkładki zbrojeniowe tworząc w ten sposób trójwymiarową wizualizację siatki zbrojeniowej (Rys. 10). Taką operację można wykonać na danych zarówno z badania w którym wykonuje się jedynie podłużne, jak i dla badania w którym wykonuje się profile poprzeczne jak i podłużne.



Rysunek 9: Tomografia przeskanowanego obszaru na poziomie prętów zbrojeniowych dla badania nr 1 (skany jedynie podłużne)



Rysunek 10: Wizualizacja prętów zbrojeniowych w trójwymiarze dla przebadanej płyty żelbetowej

4. PODSUMOWANIE

W pracy przedstawiono wyniki badań doświadczalnych prefabrykowanej płyty żelbetowej. Pomiar diagnostyczny miały na celu określenie ewentualnych uszkodzeń betonu, identyfikację ilości i rozkładu zbrojenia konstrukcji oraz porównanie wykrytej siatki zbrojeniowej z projektem płyty. Na płycie wykonano dwa typy badań oraz porównano wpływ przyjętej metodologii na uzyskane wyniki. W pierwszym badaniu wykorzystano specjalną matę do badań o gęstym profilowaniu podłużnym (27 skanów co 0,78 cm). Takie podejście pozwoliło na wygenerowanie skanów poprzecznych przez oprogramowanie georadaru, a także odwzorowanie układu zbrojenia w tomografii na poziomie prętów zbrojeniowych. Przy drugiej metodzie pomiarów, wykonano zarówno profile podłużne jak i poprzeczne. Zaletą tego typu badania jest czas realizacji, ponieważ skanując tę samą powierzchnię wykonano łącznie 13 skanów zamiast 27. Jednak przy tak rzadkiej siatce profili nie było już możliwe uzyskanie prawidłowej tomografii. Należy podkreślić, iż płyta została wykonana zgodnie z projektem, ponieważ założenia co do rozkładu zbrojenia znalazły potwierdzenie w badaniach eksperymentalnych. Doskonałym zobrazowaniem rzeczywistego zbrojenia płyty jest wizualizacja obiektu w trójwymiarze. W płycie nie wykazano żadnych uszkodzeń w postaci pustek powietrznych czy też pęknięć.

Pomiary metodą georadarową są szybkie i wydajne. Dodatkową zaletą jest fakt, iż wstępna analiza danych pomiarowych możliwa jest już w trakcie badania. Nieinwazyjny charakter, nieduży koszt oraz możliwość wizualizacji siatki zbrojeniowej sprawiają, że metoda GPR jest coraz częściej wykorzystywana w diagnostyce konstrukcji żelbetowych.

LITERATURA

- [1] Barrile V., Pucinotti R., Application of radar technology to reinforced concrete structures: a case study, *NDT&E International*, 38, 596-604, 2005.
- [2] Bęben D., Mordak A., Anigacz W., Ground Penetrating Radar Application to Testing of Reinforced Concrete Beams, *Procedia Engineering*, 65, 242-247, 2013.
- [3] Bęben D., Mordak A., Anigacz W., Zastosowanie techniki georadarowej do ustalenia parametrów belek mostowych, *Drogi i Mosty*, 3, 5-22, 2011.
- [4] Cassidy N.J., Eddies R., Dods S., Void detection beneath reinforced concrete sections: The practical application of ground penetrating radar and ultrasonic techniques, *Journal of Applied Geophysics*, 74, 263-276, 2011.
- [5] Courard L., Gillard A., Darimont A., Bleus J.M., Paquet P., Pathologies of concrete In Saint-Vincent Neo-Byzantine Church and Pauchot reinforced artificial stone, *Construction and Building Materials*, 34, 201-210, 2012.
- [6] Drobiec Ł., Jasiński R., Piekarczyk A., Diagnostyka konstrukcji żelbetowych, Tom 1, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2010.
- [7] Karczewski J., Ortyl Ł., Pasternak M., Zarys metody georadarowej, Wydawnictwo AGH, Kraków, 2011.
- [8] Instrukcja GRED HD, Piza, 02/2013.
- [9] Shaw M.R., Millard S.G., Molyneaux T.C.K., Taylor M.J., Bungey J.H., Location of steel reinforcement in concrete using ground penetrating radar and neural networks, *NDT&E International*, 38, 203-212, 2005.