

**mgr inż. Magdalena Dobrowolska**

Rozprawa doktorska: *Zastosowanie tomografii mionowej w diagnostyce wielkich budowli żelbetowych*

## **Streszczenie**

Wiele branży przemysłowych potrzebuje nieinwazyjnych metod obrazowania w celu zapewnienia bezpieczeństwa i wysokiej jakości swoich usług. Szczególne wyzwania występują w budownictwie, ponieważ wielkie, żelbetowe budowle muszą być regularnie sprawdzane. Istnieją różne techniki obrazowania i inspekcji, ale nie spełniają one wszystkich wymagań dotyczących kontroli takich obiektów. Powszechnie dostępne metody wykrywania prętów zbrojeniowych w betonie mają ograniczoną głębokość penetracji, która nie zawsze jest wystarczająca.

Tomografia rozproszeniowa mionów jest nieniszczącą i nieinwazyjną metodą, która daje duże możliwości trójwymiarowego obrazowania na dużej głębokości. Wykorzystuje ona kosmiczne miony, które są częścią promieniowania tła. Charakteryzują się one dużą przenikliwością materii, są powszechnie dostępne, a ich strumień nad poziomem morza wynosi około  $10\ 000\ \text{m}^{-2}\text{min}^{-1}$ .

Niniejsza rozprawa przedstawia techniki do wykrywania, lokalizacji, pomiaru i obrazowania stalowych zbrojeń w dużych strukturach betonowych przy użyciu tomografii rozpraszania mionów. Metody te zostały opracowane we współpracy z partnerem branżowym na podstawie symulacji Monte Carlo. Scenariusze obejmowały system detektorów oraz betonowy obiekt ze zbrojeniem wewnątrz. Przy użyciu bazy danych promieniowania kosmicznego zasymulowano zachowanie mionów podczas przechodzenia przez detektory i betonowy obiekt. Parametry systemu detektorów użyte w symulacjach odpowiadają rzeczywistym parametrom prototypowego systemu detektorów.

Opracowane metody opierają się na rekonstrukcji torów lotu mionów i ustaleniu przybliżonego miejsca ich rozproszenia mionów - wierzchołka rozpraszania. Następnie, odległości między wierzchołkami i kąty rozproszenia są wykorzystane w metodzie metrycznej. Jest ona podstawą, na której bazowano, opracowując techniki inspekcji żelbetowych konstrukcji.

W niniejszej rozprawie przedstawiono metodę detekcji i pomiaru prętów zbrojeniowych. Wykazano, że pręty o minimalnej średnicy  $33,7 \pm 7,3\ \text{mm}$  i długości  $100\ \text{cm}$  można wykryć przy użyciu opracowanej metody. Dla prętów zbrojeniowych o wymiarach powyżej  $2\ 500\ \text{cm}^3$ , objętość zrekonstruowano z rozdzielczością  $5,4 \pm 0,3\%$ . Dalsze badania wykazały, że minimalna średnica pręta o długości  $100\ \text{cm}$  możliwa do detekcji może

zostać obniżona do 6 mm wykorzystując fakt, że siatka zbrojeniowa jest strukturą powtarzalną, a sygnał okresowy można wykryć za pomocą transformaty Fouriera. W otrzymanym widmie amplituda pików zależy od średnicy pręta zbrojeniowego, a położenie pików zmienia się wraz ze zmianą odstępów między prętami zbrojeniowymi. W dalszej części pracy opracowano sposób rozróżniania jednej od dwóch warstw siatki zbrojeniowej oraz lokalizowania położenia obydwu siatek. Ważnym elementem rozprawy doktorskiej jest technika obrazowania wnętrza skanowanego obiektu. Dzięki niej możliwe jest zlokalizowanie przedmiotów znajdujących się w betonie.

W rozprawie scharakteryzowano również prototypowy system do tomografii mionowej wykorzystujący CO<sub>2</sub>. Poprzednio stosowany freon, który jest gazem cieplarnianym, nie mógł być ponownie użyty ze względu na ścisłe przepisy dotyczące wykorzystywania gazów cieplarnianych w eksperymentach fizycznych. Istnieje więc pilna potrzeba znalezienia zamienników zapewniających zadowalającą rozdzielczość i wydajność.

W ostatnim rozdziale skupiono się na możliwości zastosowania metod tomografii rozproszeniowej do obrazowania w terapii protonowej. Wstępne badanie wykazało, że możliwe jest odróżnienie od siebie czterech materiałów: tkanki miękkiej, kości, powietrza i uranu. Następnie, zasymulowano ludzki fantom, w którym pomyślnie odróżniono żebra od otaczających je tkanek.

*Słowa kluczowe: tomografia mionowa, kosmiczne miony, obrazowanie 3D, obrazowanie betonu, lokalizacja zbrojenia, lokalizacja prętów zbrojeniowych*