

STRESZCZENIE

W pracy zwrócono uwagę, że znajomość dokładnej grubości warstw nawierzchni drogowych pozwala zarówno na redukcję kosztów związanych z remontami dróg, jak i na zwiększenie bezpieczeństwa użytkowników ruchu drogowego. Po wnikliwym przeglądzie literatury dotyczącej nieniszczącej diagnostyki nawierzchni dokonano zestawienia zastosowań, możliwości i ograniczeń metod nieniszczących i uznano metodę georadarową za najlepszą do oznaczenia grubości warstw.

Omówiono teorię metody georadarowej i pokazano, że do oznaczenia grubości warstwy niezbędna jest znajomość jej stałej dielektrycznej. Zwrócono uwagę, że na wartość stałej dielektrycznej wpływa szereg czynników. Na podstawie studiów literaturowych zestawiono stałe dielektryczne materiałów używanych do budowy nawierzchni dróg – mieszanek mineralno-asfaltowych oraz betonu i podkreślono, jak szeroki jest ich zakres. Ustalono, że stałe dielektryczne podawane w literaturze powinny służyć za wartości kontrolne stałych dielektrycznych oznaczanych innymi metodami. Na bazie własnych doświadczeń stwierdzono, że najczęściej wartość stałej dielektrycznej ustala się na podstawie grubości odwiertów, jednakże stała dielektryczna w innych lokalizacjach może być znacznie różna od tej, która jest w miejscu wykonania odwiertu. Poza tym pobranie rdzenia to niszcząca ingerencja w stan nawierzchni, która obniża jej trwałość. Przedstawiono sposób oznaczania stałej dielektrycznej w sposób ciągły na podstawie amplitud fali odbitych od powierzchni, w obecnym stanie wiedzy wymagający dużej liczby odwiertów do kalibracji oraz pomiarów na suchej nawierzchni.

Za cel niniejszej pracy postawiono odpowiedzieć na pytania: (1) czy stałe dielektryczne oznaczane na podstawie amplitud fal odbitych od powierzchni i stałe dielektryczne oznaczane na podstawie odwiertu różnią się statystycznie istotnie, (2) czy obecność niejednorodności w nawierzchniach drogowych i (3) stan przypowierzchniowy nawierzchni wynikający z warunków atmosferycznych w statystycznie istotny sposób wpływa na wartość oznaczonej metodą georadarową grubości warstwy oraz (4) czy zaawansowana analiza sygnału daje możliwość uzyskania informacji, które mogłyby wpłynąć na zwiększenie dokładności oznaczeń grubości warstwy metodą georadarową.

Na podstawie przeglądu literatury dokonano zestawień czynników wpływających na wynik radarowych pomiarów grubości warstw i dokładności oznaczeń. Przeanalizowano zastosowanie zaawansowanej analizy sygnału: transformaty Fouriera (FFT, *ang. Fast Fourier*

Transform i STFT, ang. *Short Time Fourier Transform*) i analizy falkowej w interpretacji badań georadarowych.

Na potrzeby realizacji celów postawionych w niniejszej rozprawie wykorzystano Poligon Badawczy do Testowania Metod Nieniszczących Wydziału Inżynierii Lądowej Politechniki Warszawskiej składający się z 15 płyt betonowych z kontrolowanymi niejednorodnościami, Poligon Badawczy TPA składający się z 5 trójwarstwowych płyt asfaltowych zróżnicowanych porowatością warstwy ścieralnej oraz połowy odcinek badawczy TPA składający się z 3 sekcji o zróżnicowanej konstrukcji warstw asfaltowych i stałej grubości warstw. Weryfikację wniosków sformułowanych na podstawie badań w warunkach kontrolowanych przeprowadzono na wybranym odcinku drogi publicznej o zmiennej grubości warstw asfaltowych.

Dysponując antenami różnej konstrukcji i częstotliwości w ramach badań własnych porównano wyniki oznaczeń stałej dielektrycznej w oparciu o znaną grubość ośrodków propagacji fal elektromagnetycznych i w oparciu o amplitudę fali EM odbitej od powierzchni ośrodka. Zbadano wpływ niejednorodności ośrodków (delaminacji, niedogęszczeń, pustek), materiałów silnie przewodzących w ośrodkach i na ich powierzchni (zbrojenia, chlorków, zawilgoceń) oraz warunków atmosferycznych podczas wykonywania pomiarów georadarowych i wynikającego z nich stanu przypowierzchniowego badanej nawierzchni (filmu wodnego na powierzchni, lodu, warstwy śniegu, warstwy soli odladzającej) na wynik oznaczeń grubości. Z wykorzystaniem powyższych zależności zaproponowano algorytm postępowania przy oznaczaniu grubości warstw metodą georadarową minimalizujący wymaganą liczbę odwiertów i gwarantujący uzyskanie wysokiej dokładności oznaczeń. Dla wybranych ośrodków materiałowo-konstrukcyjnych zaproponowano współczynniki korygujące stałe dielektryczne oznaczane na podstawie amplitudy fali odbitej od powierzchni w różnych warunkach atmosferycznych do stałych dielektrycznych oznaczanych na podstawie odwiertów oraz współczynniki korygujące stałe dielektryczne ośrodków bez niejednorodności do stałych dielektrycznych ośrodków z niejednorodnościami. Jako narzędzie służące doborowi odpowiedniego współczynnika korygującego zaproponowano transformatę Fouriera i analizę falkową.

Na podstawie wyników uzyskanych w warunkach kontrolowanych sformułowano odpowiedzi na postawione w niniejszej rozprawie pytania. Ich prawidłowość została zwalidowana na podstawie badań drogi o zmiennej grubości.