

IV Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna
Nowoczesne technologie w budownictwie drogowym
Poznań, 3 - 4 września 2009 r.



4th International Conference
Modern Technologies in Highway Engineering
Poznan, 3 - 4 September 2009

Jacek Sudyka
Tomasz Mechowski
Przemysław Harasim
Instytut Badawczy Dróg i Mostów, Polska

NOWOCZESNE METODY OCENY STANU NAWIERZCHNI W UTRZYMANIU SIECI DROGOWEJ

Streszczenie: Skuteczne zarządzanie musi być oparte na solidnych strukturach, które w przypadku infrastruktury drogowej oznaczają odpowiednio dobrany, wdrożony system utrzymania nawierzchni. Aby system taki był przydatny musi być zasilany danymi o odpowiedniej jakości i dokładności, lecz przede wszystkim danymi, które odzwierciedlają obecny, rzeczywisty stan infrastruktury drogowej. Rozwijane techniki diagnostyczne pozwalają zapewnić te wymagania poprzez swoją wydajność i precyzję oraz relatywnie niski koszt wykonania badań. Dzięki nieinwazyjnym metodom badawczym NDT (Non-destructive Testing) możliwe jest pozyskanie w bardzo krótkim czasie informacji o stanie technicznym całej administrowanej sieci drogowej.

W referacie przedstawiono nowoczesne techniki pomiarowe wykorzystane w kilku projektach zrealizowanych przez Instytut Badawczy Dróg i Mostów dla administracji drogowej na przestrzeni ostatnich lat. Przedstawiono również możliwości wykorzystania wyników identyfikacji zarówno na poziomie danych elementarnych jak i systemu zarządzania nawierzchniami.

1. WPROWADZENIE

W informacji Najwyższej Izby Kontroli o wynikach kontroli koordynacji robót w zakresie przebudowy, modernizacji, remontów dróg i towarzyszącej infrastruktury stwierdza się, że utrzymanie właściwego stanu wymaga podejmowania systemowych działań koordynacyjnych w procesie planowania i realizacji w okresie dłuższym niż rok budżetowy [1]. Opublikowany raport dotyczy większych aglomeracji miejskich. Jak przedstawiałyby się wyniki takiej kontroli w innych jednostkach administracyjnych, takich jak województwa, powiaty czy gminy?

Skuteczne zarządzanie to odpowiednio dobrany, wdrożony system utrzymania nawierzchni - zdanie to, powtarzane niczym slogan, nabiera w dzisiejszych czasach szczególnego znaczenia. Obserwowany i przez wielu odczuwalny światowy kryzys

finansowy, presja polityczna, społeczna i gospodarcza wymusza na administracji drogowej poszukiwanie narzędzi wspomagających kreowanie efektywnej polityki utrzymaniowej. Narzędzia wspomagające w tym zakresie to mniej lub bardziej rozbudowane systemy zarządzania nawierzchniami PMS (z ang. Pavement Management System), które, oprócz parametrów modelowych i sterujących, muszą być zasilone wiarygodnymi danymi o stanie infrastruktury drogowej. Szczególny nacisk należy przy tym położyć na odpowiednią aktualizację pozyskiwanych danych, która decyduje o właściwym działaniu systemu PMS.

Odpowiednią jakość danych o infrastrukturze drogowej mogą zapewnić wysoko wydajne, zautomatyzowane, nieinwazyjne systemy pomiarowe NDT (Non-Destructive Testing), których podstawową zaletą jest szybkość i dokładność. Niewątpliwą zaletą ich zastosowania do oceny sieci drogowej jest relatywnie niski koszt wykonania pomiarów.

W niniejszym referacie przedstawiono wybrane systemy pomiarowe z grupy urządzeń NDT, które w chwili obecnej uznawane są za najnowocześniejsze rozwiązania technologiczne. Na koniec przedstawiono możliwości wykorzystania wyników identyfikacji zarówno na poziomie danych elementarnych jak i systemu zarządzania nawierzchniami.

2. TECHNIKA RADAROWA

Systemy radarowe GPR (Ground Penetrating Radar) przeznaczone do badań nawierzchni dróg wyposażane są zazwyczaj w anteny typu air-coupled, o częstotliwości centralnej ok. 1 GHz i średniej głębokości penetracji 60 cm. Anteny tego typu umieszczane są na wysokości ok. 40 cm nad badaną powierzchnią. Częstotliwość pracy takich systemów pomiarowych jest bardzo wysoka i pozwala wykonywać pomiary z częstotliwością 1 000 skanów na sekundę. W celu uzyskania większej ilości danych pojedyncze anteny można zestawiać w kilka, tak, aby pracowały jednocześnie w wielu kanałach. Takie rozwiązania są często spotykane, ponieważ zwiększają wydajność całego systemu pomiarowego.

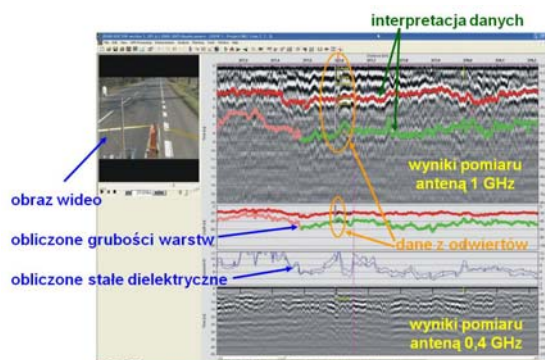


Rys. 1. System pomiarowy z umieszczoną w wózku anteną typu ground-coupled o częstotliwości 400 MHz i anteną typu air-coupled o częstotliwości 1 GHz

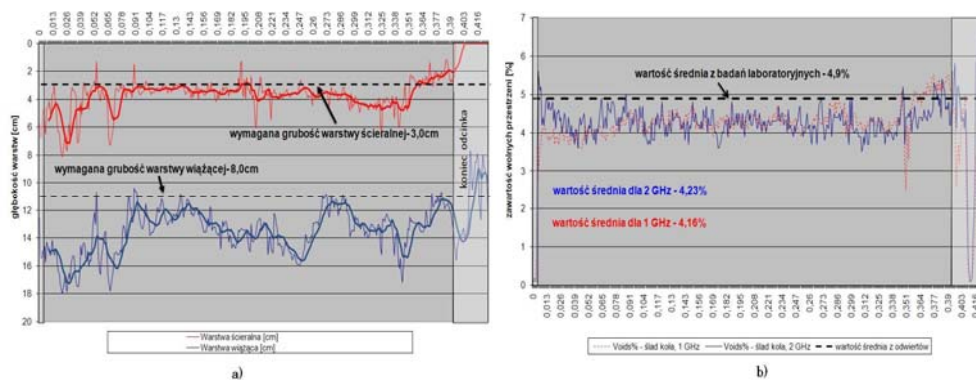
Zastosowania GPR w drogownictwie można podzielić na cztery ogólne kategorie: badania wykonywane w ramach projektowania nowych dróg, badania istniejących dróg, badania kontrolne i odbiorcze oraz badania dla potrzeb systemów zarządzania.

W badaniach istniejących dróg technika radarowa stosowana jest przede wszystkim w celu określenia układu warstw konstrukcyjnych nawierzchni. Pozytywnie tą drogą dane są bardzo precyzyjne i stanowią ważny element procesu projektowania wzmocnień nawierzchni, są także istotnymi składnikami baz danych systemów utrzymania dróg (rys. 2).

Coraz częściej badania GPR wykonywane są na nowo wybudowanych nawierzchniach. W tego rodzaju pomiarach szczególnie uwypuklają się zalety techniki radarowej, tj. efektywność pomiaru i dokładność uzyskiwanych danych. Dzięki tej metodzie pomiarowej eliminuje się przypadkowość, jaką niesie za sobą wykonywanie odwiertów. Przedstawione poniżej dane zostały uzyskane dla jednego z remontowanych odcinków ulic na terenie Warszawy. Na rys. 3a przedstawiono interpretację ilościową wbudowanych warstw nawierzchni, natomiast na rys. 3b pokazano wyniki pomiaru zawartości wolnych przestrzeni warstwy ściernalnej. Zarówno dane o grubościach jak i o zawartościach wolnych przestrzeni zostały wykalibrowane względem danych uzyskanych z odwiertów kalibracyjnych.



Rys. 2. Badania radarowe odcinka drogi dla potrzeb systemu utrzymania nawierzchni



Rys. 3. Badania kontrolne

a) grubości warstw asfaltowych i b) zawartości wolnych przestrzeni warstwy ściernalnej

Pomiary radarowe dla celów projektowania nowych dróg to przede wszystkim badania podłoża gruntowego. Technika radarowa jest w tego typu badaniach bardzo dobrym uzupełnieniem klasycznych metod pomiarowych, dając pełen układ warstw w całym profilu pomiarowym. Przy pomocy GPR możliwa jest między innymi ocena poziomu zwierciadła wody gruntowej [2].

Oprócz zadań wymienionych powyżej, rutynowo wykonywanych w wielu krajach, technika radarowa stosowana jest również w bardziej skomplikowanych badaniach, takich jak ocena rozwarstwień i ubytków powierzchniowych nawierzchni, identyfikacja spękań oraz pomiar stopnia zawilgocenia [3]. W nawierzchniach betonowych oraz w diagnostyce mostowej technika radarowa dodatkowo wykorzystywana jest w ocenie rozwarstwień, lokalizacji pustek oraz rozmieszczeniu zbrojenia.

3. POMIAR UGIĘĆ NAWIERZCHNI

Najnowszym osiągnięciem w dziedzinie pomiarów ugięć nawierzchni jest ugięciomierz laserowy TSD (z ang. Traffic Speed Deflectometer) (rys. 4). Stworzony został do wykonywania sieciowych badań nośności nawierzchni, ze szczególnym uwzględnieniem identyfikacji miejsc o obniżonej trwałości konstrukcji drogowej, w celu minimalizacji użycia tradycyjnych urządzeń o powolnej specyfice działania, takich jak ugięciomierz FWD.

Pomiar ugięciomierzem laserowym TSD oparty jest na zaawansowanej technologii laserowej. Do pomiaru pionowego przemieszczenia powierzchni nawierzchni wywołanego przez poruszającą się ciężarówkę stosowane są specjalne czujniki laserowe. Różnica przemieszczeń między punktem obciążonym i nieobciążonym jest wyrażeniem aktualnego ruchu nawierzchni wywołanego przez ciężarówkę o znanym obciążeniu. Wykorzystując technikę Dopplera możliwa jest ocena prędkości ugięcia powierzchni nawierzchni. W celu uzyskania optymalnych warunków pomiarowych stosowane są systemy kontroli (system bezwładnościowy oraz serwo mechanizm) pozwalający monitorować pozycję czujników laserowych.

Proces pomiarowy jest automatyczny i może go przeprowadzić jedna osoba. Pomiary wykonywane są zazwyczaj przy prędkości 70-80 km/h. Maksymalna prędkość pomiarowa wynosi 95 km/h, natomiast minimalna to 20 km/h. Typowa wielkość obciążenia to 10 ton lub inna w zależności od wymagań projektowych.



Rys. 4. Traffic Speed Deflectometer (<http://www.greenwood.dk/>)

Główną zaletą wynikającą z charakterystyki działania czujnika laserowego Dopplera jest prowadzenie pomiarów ugięć nawierzchni bezdotykowo i w sposób ciągły. Wyjątkowość ugięciomierza TSD polega również na tym, że zbudowane zostało na bazie samochodu ciężarowego z naczepą, którego ruch odpowiada rzeczywistemu zachowaniu pojazdu na drodze (obciążenia nawierzchni i prędkość), a nie jak w pozostałych urządzeniach na symulacji takiego ruchu i przyjmowaniu pewnych założeń.

4. OCENA PARAMETRÓW POWIERZCHNIOWYCH

Jednym z podstawowych parametrów powierzchniowych, bezpośrednio wpływającym na komfort i bezpieczeństwo ruchu jest równość nawierzchni. Pomiar tego parametru jest stosunkowo prosty i dosyć rozpowszechniony przez coraz większą liczbę systemów pomiarowych opartych na technice laserowej. Jednak systemy te są dzisiaj coraz bardziej udoskonalane i rozbudowywane. Jedną z najnowszych technik pomiarowych, będącą uzupełnieniem dotychczas tworzonych urządzeń, pozwala na zarejestrowanie uszkodzeń powierzchniowych, takich jak wyboje i spękania.

Przykładami nowoczesnych systemów pomiarowych, przy pomocy których można zidentyfikować niemal wszystkie parametry powierzchniowe mogą być urządzenia ARGUS niemieckiej firmy Schniering (Rys. 5a) i Profilograph duńskiej firmy Greenwood (rys. 5b). W zestawach tych, oprócz zestawu czujników laserowych do pomiaru równości podłużnej, poprzecznej i tekstury, zastosowano układ kamer o wysokiej rozdzielczości, służące do identyfikacji uszkodzeń powierzchniowych oraz rejestracji obrazu pasa drogowego.

Identyfikacja uszkodzeń w tego typu systemach polega na manualnej lub półautomatycznej analizie obrazów powierzchni. W pomiarach tą metodą wyróżnia się następujące uszkodzenia nawierzchni asfaltowych: spękania siatkowe i skupiska

rys, łąty nałożone i wbudowane, wyboje, pojedyncze rysy i otwarte spoiny (połączenia), przeasfaltowania nawierzchni (wyciśnięte lepiszczce na powierzchni warstwy ścieralnej).



Rys. 5 a) System ARGUS firmy Shniering [4], b) zestaw lamp stroboskopowych do oświetlenia nawierzchni w urządzeniu Line Scan firmy Greenwood (<http://www.greenwood.dk/>)

Niewątpliwymi zaletami tych urządzeń jest ich efektywność (pomiar odbywa się przy prędkości 40-60 km/h i może być prowadzony bez utrudnień w ruchu drogowym) oraz wysoka odtwarzalność i powtarzalność wyników. Te cechy sprawiają, że systemy pomiarowe tego typu są bardzo przydatne w ocenie nawierzchni dla potrzeb systemów utrzymania i banków danych drogowych na poziomie sieci.

5. KOMPLEKSOWA IDENTYFIKACJA STANU NAWIERZCHNI

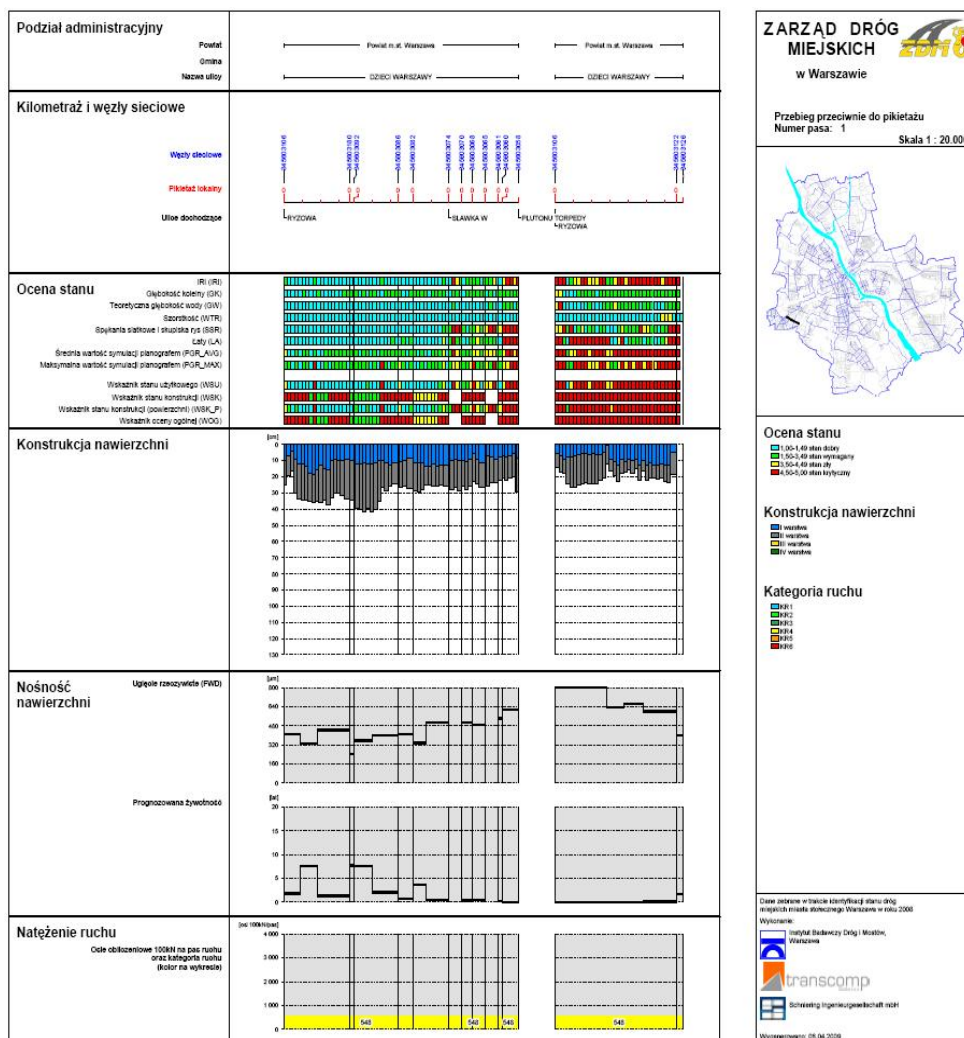
Na przestrzeni ostatnich kilku lat Instytut, wspólnie z partnerami, zrealizował kilka dużych projektów polegających na identyfikacji i ocenie stanu nawierzchni dróg. W przeciągu trzech lat wykonano pomiary różnych cech nawierzchni na odcinkach o łącznej długości nieco ponad 2 000 km., a w przeliczeniu na pasy ruchu ok. 4 600 km. Realizacja tych projektów wymagała dużego nakładu pracy, ale pozwoliła na zgromadzenie ogromnej liczby doświadczeń, zarówno od strony praktycznej jak i naukowej.

Podejmowane przez administratorów działania polegały w pierwszym rzędzie na utworzeniu banku danych drogowych, które w wstępnym etapie posłużyły do identyfikacji stanu odcinków, a w następnym etapie wykorzystane zostały jako dane wejściowe w systemowej ocenie stanu nawierzchni zarządzanej sieci drogowej. Między innymi z tego powodu zakres prac obejmował:

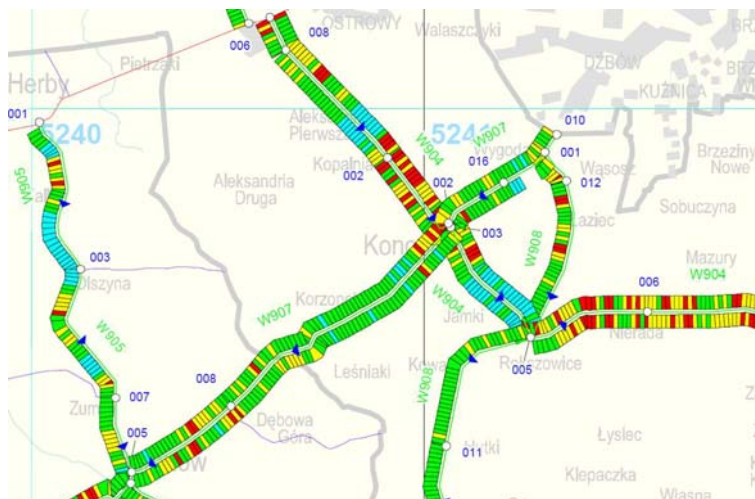
- rozpoznanie konstrukcji nawierzchni metodą radarową,
- odwierty kalibracyjne wraz z dokumentacją,

- pomiary równości poprzecznej i podłużnej nawierzchni,
- pomiary ugięć nawierzchni wraz z oceną nośności,
- identyfikację uszkodzeń powierzchniowych,
- pomiary współczynnika tarcia,
- wideorejestrację dróg i ich otoczenia,
- opracowanie wstępnych zaleceń technologicznych.

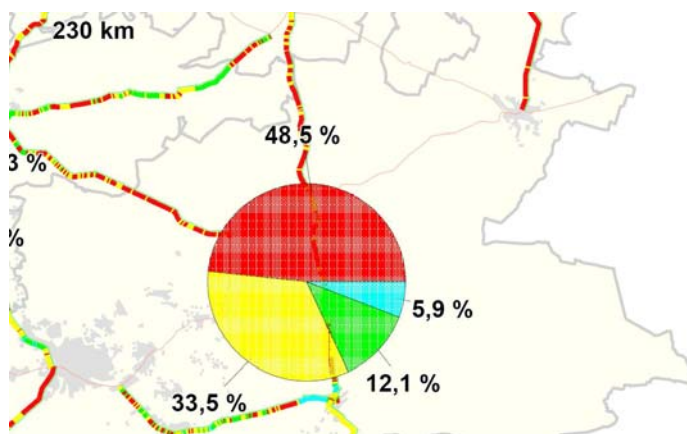
Wyniki badań i analiz zarchiwizowane zostały w bazach danych oraz przedstawione w formie profili (rys. 6) a także map (rys. 7). Wszelkie dane dostępne są w formie elektronicznej poprzez program bazodanowy. Daje to możliwość dowolnego wizualizowania wybranych danych, jak również pozwala analizować całość, jak i fragment wybranej sieci drogowej pod dowolnie zdefiniowanym kryterium (rys. 8).



Rys. 6. Profil danych elementarnych dla jednego z odcinków



Rys. 7. Ocena ogólna wybranego fragmentu sieci drogowej



Rys. 8. Geostatystyka wskaźnika szorstkości – dane z jednego z powiatów

5. WNIOSKI

Przedstawione w niniejszym referacie systemy pomiarowe reprezentują najlepsze rozwiązania w dziedzinie nieniszczących badań nawierzchni drogowych. Dzięki wysokiej efektywności stosowane są głównie do oceny stanu infrastruktury drogowej na poziomie sieci, a ich przydatność do tego celu potwierdzana jest rokrocznie, między innymi w Niemczech, Francji i Anglii, gdzie badania tego rodzaju prowadzone są regularnie na podstawowej sieci drogowej.

W Polsce ocena stanu dla potrzeb PMS jest w fazie wdrożeniowej. Permanentny brak nakładów finansowych, koronny argument administracji drogowych sprawia, że ogranicza się finansowanie tego typu działań. Tymczasem sytuacja ta jest

szkodliwa dla samych administratorów. Wobec przystąpienia Polski do Unii Europejskiej i znacznego zwiększenia dostępności środków finansowych na poprawę stanu infrastruktury transportowej obserwujemy już dzisiaj kłopoty z odpowiednim, uzasadnionym wyborem odcinków dróg przeznaczonych do remontu. Dzięki wdrożonym systemom PMS sytuacji takiej można by uniknąć.

LITERATURA

- [1] Kosmański M., *Informacja o wynikach kontroli koordynacji robót w zakresie przebudowy, modernizacji, remontów dróg i towarzyszącej infrastruktury na terenie wybranych aglomeracji miejskich*, Raport Najwyższej Izby Kontroli nr 162/2008/P/08/171/LWA, Warszawa 2009
- [2] Sandeep P., *GPR measurements of water level in silty soils*, Department of Civil and Environmental Engineering, Morgantown, West Virginia, USA
- [3] Saarenketo, T., Scullion, T. *Road evaluation with Ground Penetrating Radar*, Journal of Applied Geophysics 43 , 119-138
- [4] Sybilski S., Mechowski T., Sudyka J., Harasim P., *Identyfikacja stanu eksploatacyjnego dróg wojewódzkich na terenie województwa śląskiego*, Polski Kongres Drogowy, Warszawa 2006, p.249-259

MODERN PAVEMENT DIAGNOSTIC TECHNIQUES IN ROAD NETWORK MAINTENANCE

Summary: It is obvious that effective maintenance should be based on solid foundations, which in the case of road infrastructure mean an appropriate, implemented Pavement Management System. In order to take advantage of such a system, it must be fed with high quality and precise data, which reflect the current actual condition of the road infrastructure. The currently available diagnostic techniques allow ensuring compliance with those requirements owing to their efficiency, precision and the relatively low cost of testing. Thanks to these modern techniques, often referred to as Non-destructive Testing, it is possible to gather information on the technical condition of the entire road network over a relatively short period of time.

This report presents the modern measurement methods used in several projects completed in the last few years by the Road and Bridge Research Institute on behalf of road authorities as well as the possibilities of using the identification results both on the level of elementary data and the pavement management system.