

mgr inż. Tomasz Mechowski*
mgr inż. Jacek Sudyka*
mgr inż. Przemysław Harasim*

Diagnostyka stanu technicznego dróg

Diaagnostyka nawierzchni drogowych to proces pozyskiwania, gromadzenia i przetwarzania informacji o ich stanie technicznym [1]. Obiektywne, aktualne i precyzyjne dane są podstawą racjonalnego planowania zabiegów utrzymaniowych i efektywnego wydatkowania środków finansowych. Prowadzenie systematycznej identyfikacji parametrów stanu nawierzchni pozwala również na ocenę efektywności zastosowanych zabiegów utrzymaniowych oraz budowanie modeli degradacji stanu technicznego nawierzchni, będących niezbędnym elementem do tworzenia średnio- i długoterminowych programów remontowych. W związku z tym, że cele oceny stanu technicznego nawierzchni formułowane przez poszczególnych zarządców dróg są różne, to proces identyfikacji danych o ich stanie musi uwzględniać możliwie szeroki zakres tych celów [2]. Określone dane o stanie nawierzchni mogą być oceniane w różny sposób przez poszczególne podmioty decyzyjne. Aby więc zagwarantować możliwość wykorzystania danych o stanie nawierzchni do różnych typów analiz, diagnostykę nawierzchni należy podzielić na dwa etapy: **identyfikację parametrów stanu** (pomiarów parametrów technicznych nawierzchni) oraz **ocenę stanu technicznego**. W artykule omówiono metody pomiarowe, służące do zbierania danych w ramach identyfikacji parametrów stanu dróg. Zaprezentowano urządzenia do diagnostyki drogowej, stanowiące własność Instytutu Badawczego Dróg i Mostów w Warszawie.

Badania ugięć nawierzchni

Ugięciomierz dynamiczny FWD (ang. *Falling Weight Deflectometer*, fotografia 1) jest obecnie najczęściej stosowanym urządzeniem do oceny nośności nawierzchni drogowych. Pozwala na pomiar czaszy ugięć nawierzchni pod zadaniem obciążeniem. Po ustawieniu urządzenia w danym punkcie pomiarowym, na nawierzchnię jest opuszczana automatycznie płyta naciskowa wraz z czujnikiem centralnym oraz czujniki znajdujące się na belce pomiarowej w określonych odległościach. Z określonej



Fot. 1. Ugięciomierz dynamiczny FWD

wysokości wykonywany jest zrzut obciążnika o ustalonej wcześniej masie (maksymalny nacisk 120 kN). W wyniku działania obciążenia konstrukcja nawierzchni oraz podłoże ulegają odkształceniu sprężystemu na pewnym obszarze, którego wielkość zależy od zadanego obciążenia testowego oraz sztywności badanej konstrukcji. Ugięcia nawierzchni mierzone są zwykle za pomocą 7 – 9 czujników ustawionych w ściśle określonych odległościach od osi działania siły obciążającej. Przebiegi procesów obciążenia i odkształcenia konstrukcji są rejestrowane jednocześnie. Wyniki pomiaru czaszy ugięć wykorzystuje się do wyznaczenia, zazwyczaj metodą obliczeń odwrotnych (ang. *back-calculation analysis*), modułów sprężystości lub sztywności warstw konstrukcyjnych nawierzchni. Moduł sprężystości jest podstawowym parametrem w mechanistycznych analizach trwałości (nośności) konstrukcji nawierzchni drogowych.

Ugięciomierz dynamiczny HWD (ang. *Heavy Weight Deflectometer*, fotografia 2) działa na tej samej zasadzie co urządzenie FWD, ale może wywierać większy nacisk na badaną nawierzchnię (do 320 kN). Z tego powodu jest stosowany głównie na nawierzchniach lotniskowych, które mają



Fot. 2. Ugięciomierz dynamiczny HWD w trakcie pomiaru

znacznie grubszą konstrukcję od nawierzchni drogowych.

Wyniki pomiarów ugięciomierzami FWD i HWD mogą być wykorzystane nie tylko do projektowania konstrukcji wzmocnienia nawierzchni, ale również do oceny stanu technicznego sieci drogowej lub ulicznej. Uzyskane wyniki można wówczas wykorzystać m.in. do budowy banku danych o nośności dróg, co jest pomocne w prawidłowym ustalaniu budżetu, podziału środków, typowaniu odcinków do remontu lub przebudowy oraz hierarchizacji ważności działań dotyczących sieci drogowej. Ugięciomierze dynamiczne mogą być ponadto wykorzystywane do oceny warunków podparcia warstw sztywnych (betonowych) oraz współpracy płyt w pęknięciu „odbitym” w nawierzchniach o konstrukcji półsztywnej [3].

Najnowszym osiągnięciem w dziedzinie pomiarów ugięć nawierzchni jest **ugięciomierz laserowy TSD** (ang. *Traffic Speed Deflectometer*, fotografia 3). Dzięki nieporównywalnej z innymi urządzeniami wydajności, wynikającej z możliwości pomiaru z prędkością do 80 km/h, TSD potrafi dostarczyć w ciągu jednego sezonu dane o ugięciach kilkudziesięciu tysięcy kilometrów dróg. W efekcie zwiększa się zdecydo-



Fot. 3. Ugięciomierz laserowy TSD

wanie skuteczność zarządzania siecią drogową przy minimalizacji kosztów społecznych związanych z utrudnieniami w ruchu i ryzykiem wypadków. System pomiarowy TSD jest wyposażony w zestaw instrumentów i rejestratorów zainstalowanych na izolowanej naczepie kontenerowej. Naczepa jest zamontowana na podwoziu z pojedynczą osią obciążoną standardowo naciskiem 10 ton. W naczepie zainstalowano zestaw siedmiu czujników laserowych, roz-

* Instytut Badawczy Dróg i Mostów

stawionych w odpowiednich odległościach od osi prawego koła naczepy. Zestaw tych czujników jest zamontowany na specjalnej belce wyposażonej w system bezwładnościowy oraz serwomechanizm, pozwalający utrzymywać stałą pozycję czujników względem nawierzchni.

Pomiary cech geometrycznych i identyfikacja uszkodzeń nawierzchni

SPDE (ang. *System for Pavement Distress Evaluation*) to urządzenie zawierające kilka podsystemów pomiarowych, sterowanych wspólnym oprogramowaniem. Integracja różnych urządzeń w ramach jednego systemu pomiarowego oraz możliwość prowadzenia pomiaru w czasie rzeczywistym w normalnych warunkach ruchowych pozwala uzyskać pełną zgodność danych o parametrach nawierzchni i znacznie zwiększa efektywność prowadzonej oceny cech powierzchniowych nawierzchni. System pomiarowy może badać profil podłużny i poprzeczny, teoretyczną głębokość filmu wodnego w koleinie, spadki podłużne i poprzeczne drogi, promienie łuków poziomych drogi, teksturę nawierzchni. Do tego celu służy belka zamontowana z przodu pojazdu (fotografia 4) z zainstalowanymi czujnikami laserowymi o różnej charakterystyce. Czujniki rozmieszczone są co 12,5 cm, a dzięki specjalnym czujnikom kątowym efektywna szerokość pomiarowa została zwiększona do 3,5 m. Całość oprzyrządowana jest dodatkowymi elementami, takimi jak żyroskop, akcelerometr, 4 czujniki do pomiaru równości podłużnej (umocowane w osi prawych kół, pod samochodem) oraz dodatkowo czujnik laserowy o nieco innej charakterystyce, przeznaczony do pomiaru tekstury.



Fot. 4. Profilograf laserowy SPDE

SPDE umożliwia również rejestrację cyfrowego obrazu powierzchni nawierzchni i występujących na niej uszkodzeń na szerokości do 4 m z rozdzielczością 1 mm x 1 mm. Dzięki użyciu technologii oświetlenia LED pozostaje niewrażliwy na zmieniające się warunki oświetleniowe. Obraz nawierzchni rejestrowany jest przez dwie kamery z tyłu

samochodu. Dodatkowo z przodu pojazdu umieszczona jest kamera do rejestracji obrazu pasa drogowego, dzięki której możliwy jest pomiar i identyfikacja elementów pasa drogowego.

Badania właściwości przeciwpoślizgowych nawierzchni

Zestaw pomiarowy SRT-3 (ang. *Skid Resistance Tester*, fotografia 5) reprezentuje trzecią generację urządzeń do pomiaru współczynnika tarcia nawierzchni. Przyczepa dynamometryczna wchodząca w skład zestawu i umożliwia:

- pomiar współczynnika tarcia przy pełnej blokadzie koła pomiarowego dwoma metodami: przez pomiar momentu hamującego i bezpośredni pomiar siły tarcia;
- pomiar siły oporów toczenia;
- pomiar współczynnika tarcia na łukach poziomych;
- pomiar siły w zawieszeniu przyczepy dynamometrycznej, umożliwiającą korektę wartości współczynnika tarcia ze względu na wielkość docisku koła testowego do nawierzchni;
- określenie współczynnika tarcia w funkcji poślizgu względnego.



Fot. 5. Zestaw pomiarowy SRT-3

Pomiary standardowo wykonuje się przy prędkości 60 km/h, ale możliwe są również badania przy prędkości: 30 – 120 km/h. Obecnie stosuje się oponę pomiarową 185/65 R14 Barum Bravuris, natomiast od przyszłego roku planowane jest wprowadzenie do stosowania opony 165 R15/PIARC, gładkiej z obwodowymi rowkami. Badania są wykonywane na zwilżonej nawierzchni. Woda podawana jest przez hydropneumatyczny system zainstalowany na samochodzie holującym.

Rozpoznanie konstrukcji drogi

Informacje o rodzaju i układzie warstw konstrukcyjnych drogi otrzymuje się zazwyczaj przez wykonanie w nawierzchni odwiertu i makroskopową ocenę pobranego rdzenia oraz pomiar grubości warstw. Metoda ta jest stopniowo wypierana przez metody bezinwa-

zyjne, wykorzystujące teorię propagacji fal elektromagnetycznych (systemy radarowe) [4]. W celu uzyskania większej liczby danych, pojedyncze anteny można zestawiać w kilka, tak aby pokrywały jednocześnie równoległe linie pomiarowe. Nowoczesnym przykładem takiego systemu jest urządzenie 3D-RADAR (fotografia 6), umożliwiające jednoczesne skanowanie nawierzchni w 29 równoległych liniach.



Fot. 6. 3D-RADAR

3D-RADAR bazuje na technice przestrajania krokowego (z ang. *step-frequency*), w której zrezygnowano z użycia sygnałów w postaci skupionych paczek falowych na rzecz długotrwałej emisji sygnału sinusoidalnego o dobrze określonej częstotliwości. Zastosowano również rozwiązania pozwalające na pomiar amplitudy sinusoidalnej odpowiedzi ośrodka wraz z jej przesunięciem fazowym. W pojedynczym punkcie obserwacyjnym pomiar taki powtarza się wielokrotnie przy użyciu różnych częstotliwości, zmieniających kolejno o niewielki krok. Przykładowo taki ciąg pomiarów może być wykonywany od częstotliwości 300 MHz do 3 GHz z odstępem co 2 MHz (czyli przy użyciu zestawu 1351 częstotliwości), gdzie emisja pojedynczej wybranej częstotliwości trwa 2 μs, a cały cykl w jednym punkcie obserwacyjnym trwa ok. 3 ms. 3D-RADAR wyróżnia się znakomitymi możliwościami oceny budowy warstw asfaltowych, warstw podbudowy i ośrodka gruntowego.

Fot. 1, 2, 4 – P. Harasim; Fot. 3 – J. Sudyka; Fot. 5 – R. Borucki; Fot. 6 – E. Kaniuk

Literatura

- [1] Praca zbiorowa pod kierunkiem L. Rafalskiego, „Eksploracja dróg”, IBDiM Warszawa 2011 r.
- [2] Lendzion G., Mechowski T., Sudyka J., Harasim P., Pieńkowski W., „Identyfikacja i ocena stanu nawierzchni sieci dróg administrowanych przez ZDM w Warszawie – kolejny krok w ramach rozwijania nowoczesnego systemu zarządzania stanem dróg na terenie m. st. Warszawa”, *Magazyn Autostrady* 10/2009.
- [3] Katalog Wzmocnień i Remontów Nawierzchni Podatnych i Polsztywnych”, IBDiM, Warszawa 2001 r.
- [4] Sudyka J., Mechowski T., Harasim P., „Nowoczesne metody oceny stanu nawierzchni w utrzymaniu sieci drogowej”, IV Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna „Nowoczesne technologie w budownictwie drogowym”, Poznań 2009 r.