

# Współczesne badania nieniszczące konstrukcji nawierzchni drogowych

## Modern non-destructive testing pavement structure

### Streszczenie

Tematyka badań nieniszczących nawierzchni drogowych była przedstawiana i referowana od 1985 r. na kolejnych krajowych konferencjach badań nieniszczących. Opisywano wyniki badań nawierzchni drogowych oraz drogowych obiektów inżynierskich metodami ultradźwiękowymi. Prowadzono również długotrwałe obserwacje nawierzchni wykonanej z betonu asfaltowego oraz nawierzchni wykonanej z betonu cementowego.

Przedstawiano także nowoczesne urządzenia pomiarowe do prowadzenia ciągłych pomiarów parametrów stanu nawierzchni drogowej: profilograf laserowy LPR, profilograf APL, zestaw pomiarowy SRT-3, jak również urządzenia do pomiarów nośności: ugięciomierz laserowy HSD, TSD i RDT. Omówiono także system mobilnego skanowania laserowego MLS umożliwiający zbieranie trójwymiarowej informacji przestrzennej o pasie drogowym i innych obiektach liniowych.

Celem artykułu jest przedstawienie wybranych, współczesnych urządzeń pomiarowych w postaci nowoczesnych profilometrów laserowych, przenośnych urządzeń pomiarowych LaserProf możliwych do zamontowania na samochodzie osobowym czy urządzeń do pomiarów równości podłużnej chodników i ścieżek rowerowych LaserProf MiniTrailer. Opisano również system obrazowania powierzchni SIS do rejestrowania uszkodzeń nawierzchni. Artykuł zakończono informacją o międzynarodowym projekcie badawczym TRIMM dotyczącym przyszłości zarządzania i monitorowania infrastruktury drogowej.

**Słowa kluczowe:** nawierzchnia drogowa, diagnostyka nawierzchni, zmiany parametrów stanu

### Abstract

Topics NDT pavement was presented and refereed since 1985 for the next National Conferences of Non-Destructive Testing. Results have been reported in road surfacing and road structures by ultrasonic methods. Also carried out long-term observations of surface made of concrete and asphalt pavement made of cement concrete.

Well presented modern measuring devices to conduct continuous measurements of the state of the road surface: Contour laser LPR, Contour APL test set SRT-3 as well as equipment for measuring capacity: laser deflectometer HSD, TSD and RDT. It also discusses the mobile laser scanning system MLS allows you to collect three-dimensional spatial information about lane road and other facilities linear.

The aim of this paper is to present selected, modern measuring devices in the form of upgraded profilometers laser, portable measuring devices LaserProf possible to be mounted on a passenger car or a device for measuring equality longitudinal walkways and bicycle paths LaserProf MiniTrailer. Also describes the SIS surface imaging system for recording surface damage. The paper was completed information about TRIMM international research project on the future management and monitoring of road infrastructure.

**Keywords:** road pavement, pavement diagnostics, parameter changes state

## Wstęp

Tematyka badań nieniszczących nawierzchni drogowych była przedstawiana i referowana od 1985 r. na kolejnych krajowych konferencjach badań nieniszczących. Opisywano wyniki badań nawierzchni drogowych i lotniskowych z betonu cementowego, nawierzchni drogowych z betonu asfaltowego oraz drogowych obiektów inżynierskich. Do badań wykorzystywano ultradźwiękowe próbniki materiałów kolejnych generacji. Prowadzono również długotrwałe obserwacje nawierzchni wykonanej z betonu asfaltowego oraz nawierzchni wykonanej z betonu cementowego, jak również drogowych obiektów inżynierskich. Wyniki badań zostały opisane w wielu publikacjach [1,2].

Liczne zalety stosowanych metod ultradźwiękowych mają zasadniczą niedogodność w odniesieniu do potrzeb drogownictwa. Są badaniami punktowymi, których nie można zastosować do prowadzenia pomiarów o charakterze ciągłym na sieci drogowej. Wiele z tych nowoczesnych urządzeń pomiarowych zostało opisanych na krajowych konferencjach badań nieniszczących. Na 29 KKBN przedstawiłem profilograf laserowy LPR służący do pomiaru cech geometrycznych warstwy wierzchniej nawierzchni drogowej [3]. Dzienna wydajność profilografu laserowego na sieci drogowej może osiągnąć dystans nawet do 100 km pasów ruchu. Z przodu samochodu jest zamontowana rozsuwana belka o długości 2,22 m z piętnastoma laserami, które wykorzystuje się do oznaczenia odległości od powierzchni geometrycznej warstwy wierzchniej nawierzchni jezdni. Zamontowany wewnątrz belki układ inercyjny rejestruje wszelkie jej ruchy. Na lewym tylnym kole zamontowano czujnik licznika odległości. W czasie pomiarów dane z laserów, układu inercyjnego i licznika drogi gromadzone są w komputerze i prezentowane graficznie w czasie rzeczywistym w postaci nierówności podłużnych, jak również nierówności poprzecznych [4].

Na 33 KKBN [4] opisałem profilograf APL (*Analysér de Profil Longitudinale*), który stosuje się do rejestrowania profilu podłużnego, biorąc pod uwagę długości fal mieszczące się w przedziale od 0,5 m do 50 m. Rezultatem pomiaru jest międzynarodowy wskaźnik równości podłużnej IRI. Kolejne urządzenie pomiarowe wykorzystuje się do oceny właściwości przeciwpoślizgowych górnej warstwy nawierzchni jezdni przez pomiar współczynnika tarcia na mokrej nawierzchni przy całkowitym poślizgu opony testowej. Zestaw pomiarowy SRT-3 (*Skid Resistance Tester*) umożliwia wyznaczenie współczynnika tarcia przez pomiar momentu hamującego oraz bezpośredni pomiar siły tarcia.

W roku 1992 zestaw SRT-3 uczestniczył w międzynarodowym eksperymencie zorganizowanym przez PIARC oraz w prowadzonym obecnie Międzynarodowym Eksperymencie HERMES zorganizowanym przez FEHRL. Celem tego spotkania było wyznaczenie

współczynników korygujących pozwalających na porównanie wyników uzyskanych poszczególnymi urządzeniami pomiarowymi. Urządzenie SRT-3 opisałem również w artykule przygotowanym na 33 KKBN [4]. Wymienione urządzenie pomiarowe jest wykorzystywane w ramach polskiego systemu oceny stanu nawierzchni SOSN do oceny stanu dróg krajowych.

Do badania nośności konstrukcji nawierzchni drogowej są stosowane metody pomiaru ugięć sprężystych, w których wykorzystuje się zarówno statyczną metodę pomiaru ugięcia konstrukcji jezdni pod obciążeniem koła samochodu (belka Benkelmana), metodę VSS, jak i pomiar czasu ugięć wierzchniej warstwy ugięciomierzem dynamicznym FWD (*Falling Weight Deflectometer*) [5]. Standardowa wartość obciążenia nawierzchni generowana w tego typu urządzeniach wynosi 50 kN, co odpowiada obciążeniu równoważną osią standardową o nacisku 100 kN i jest rozłożona na płytę naciskową o średnicy 300 mm. Zakłada się, że w wyniku działania obciążenia konstrukcja nawierzchni oraz podłoże ulegają odkształceniu sprężystemu. Uzyskane podczas pomiaru informacje o ugięciach pod płytą pomiarową oraz parametry czasu ugięcia umożliwiają wykonanie obliczeń zarówno modułu zastępczego nawierzchni, jak i modułów sprężystości poszczególnych jej warstw, a w dalszej kolejności wykonanie obliczeń nośności i pozostałej trwałości nawierzchni. Są to jednak badania seminieniszczące.

Ocena nośności na poziomie sieci drogowej wymaga zaś stosowania metod pomiarowych niepowodujących zamknięcia pasa ruchu. Pomiar powinien być wykonywany podczas przejazdu urządzenia pomiarowego z taką prędkością, z jaką poruszają się pojazdy na drodze. Takie możliwości stwarza ugięciomierz laserowy HSD (*High Speed Deflectograph*), ugięciomierz laserowy TSD (*Traffic Speed Deflectometer*) czy *Road Deflection Tester* (RDT) wykonany przez Swedish National Road i Transport Research Institute (VTI). Urządzenia zostały opisane na kolejnych KKBN [5,6]. Dzięki zastosowaniu ugięciomierzy laserowych możliwe jest wyznaczenie nośności konstrukcji nawierzchni drogowej podczas przejazdu urządzenia pomiarowego z normalną prędkością ze szczególnym uwzględnieniem identyfikacji miejsc o obniżonej trwałości konstrukcji drogowej. Ugięciomierz laserowy HSD (*High Speed Deflectograph*) oraz RDT *Road Deflection Tester* zostały opisane w artykułach [6,8]. Wymienione urządzenia pomiarowe są wciąż w fazie doskonalenia i nie działają na stałe w żadnym systemie utrzymania nawierzchni. Wysoki koszt i brak komercyjnej wersji pomimo długich badań prototypów to główne wady tych urządzeń.

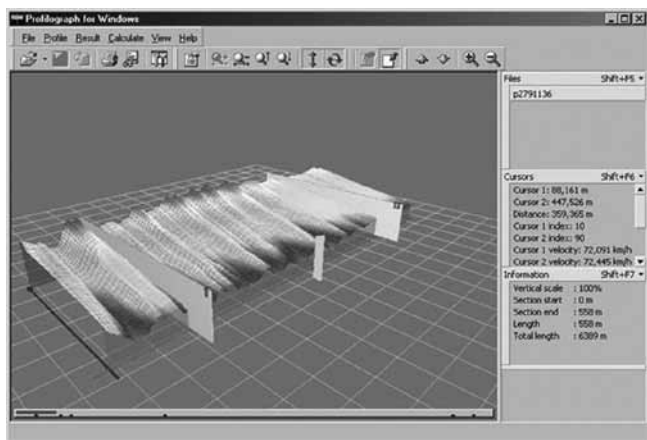
Należy jeszcze omówić system mobilnego skanowania laserowego MLS (*Mobile Laser Scanning*) [7] umożliwiający zbieranie trójwymiarowej informacji przestrzennej o pasie drogowym i innych obiektach liniowych. Mobilny system skanowania laserowego

może być zainstalowany na pojeździe pozwalającym na zamontowanie skanera, anteny GPS, modułu inercyjnego IMU (*Inertial Measurement Unit*) i komputera. W skład cyfrowej stacji detekcyjnej wchodzi 2 skanery Riegl VZ-400, skaner Riegl VQ-250, wielokanałowy georadar IDS, naziemny mobilny system pozycjonowania GPS/IMU PosLV 420 oraz zespół komputerów pokładowych. Na wyposażeniu systemu znajduje się również 6 cyfrowych kamer wideo do rejestrowania obrazów panoramicznych. Poza skanowaniem laserowym istnieje możliwość wykorzystania radaru GPR (*Ground Penetrating Radar*) o częstotliwości 400 MHz, 1,6 GHz lub 1 GHz. Można go wykorzystać do penetracji gruntu do głębokości 1÷2 m, a przy niższej dokładności – nawet do 5 m. Możliwości wykorzystania radaru GPR do badań nieniszczących konstrukcji nawierzchni drogowej opisano w referacie przedstawionym na 38 KKBN [6]. Dzięki zastosowaniu radaru GPR możliwe jest wyznaczanie grubości poszczególnych warstw, śledzenie zmian ich grubości na długości odcinka drogi, jak również wskazywanie miejsc zmiany układu konstrukcyjnego nawierzchni drogowej.

System mobilnego skanowania laserowego może być zastosowany do wykonania mapy wektorowej, przekrojów podłużnych i poprzecznych, numerycznego modelu terenu czy też do identyfikacji nierówności poprzecznych w nawierzchni drogowej.

## Współczesne urządzenia pomiarowe

W ostatnich latach prowadzone są przez wiele ośrodków naukowych na świecie, zakrojone na szeroką skalę prace naukowo-badawcze doskonalące urządzenia pomiarowe. Duńska firma Greenwood Engineering unowocześniła profilometrię laserową, stosując na belce pomiarowej 48 laserów, czujniki tekstury oraz GPS. Wyniki pomiaru przedstawiono na rysunku 1.



**Rys. 1.** Geometryczna powierzchnia nawierzchni w 3D [9]  
**Fig. 1.** Geometric surface area 3D [9]



**Rys. 2.** Przenośny system pomiarowy do wyznaczania równości podłużnej [9]

**Fig. 2.** Portable measuring system for determining the longitudinal equality [9]

Firma Greenwood Engineering wykonała również przenośne urządzenia pomiarowe LaserProf [2] możliwe do zamontowania na samochodzie osobowym (rys. 3).

Urządzenie pomiarowe LaserProf jest możliwe do zainstalowania na większości pojazdów samochodowych. Pojazd podczas pomiaru może poruszać się z prędkością nawet do 150 km/h. Urządzenie LaserProf wykorzystuje najnowsze technologie FPGA (*Field Programmable Gate Array*). FPGA pracuje przy 50 MHz, zbierając dane z różnych czujników i przesyła do komputera za pomocą połączenia Ethernet.



**Rys. 3.** Przenośny system pomiarowy zainstalowany na samochodzie osobowym [9]

**Fig. 3.** Portable measuring system installed on a passenger car [9]

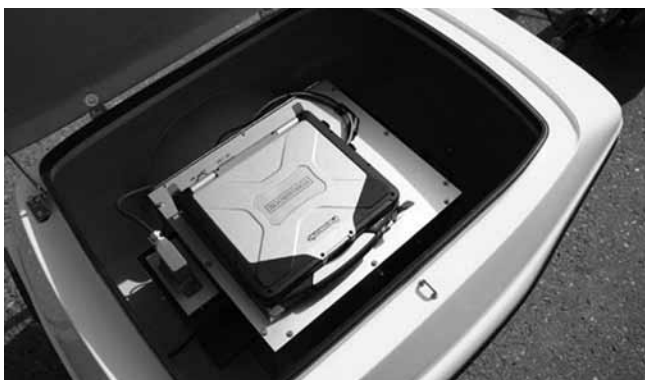
Innym oryginalnym urządzeniem do pomiarów równości podłużnej chodników i ścieżek rowerowych jest urządzenie pomiarowe LaserProf MiniTrailer (rys. 4 i 5) [9].

Urządzenie pomiarowe LaserProf MiniTrailer pozwala wykonywać pomiary równości podłużnej nawierzchni na drogach rowerowych o szerokości 80 cm. Urządzenie LaserProf wykorzystuje również technologie FPGA. Do sporządzania raportów dotyczących wyników pomiarów równości podłużnej mogą być wykorzystywane wbudowane narzędzia do generowania wykresu zarówno w 2D jak i 3D.



**Rys. 4.** Urządzenie do pomiarów równości podłużnej chodników i ścieżek rowerowych [9]

**Fig. 4.** Device of measurement equal to the longitudinal walkways and bicycle paths [9]



**Rys. 5.** Sprzęt cyfrowy zamontowany w przyczepie [9]

**Fig. 5.** Digital equipment installed in the trailer [9]

Należy również przedstawić system obrazowania powierzchni SIS (*Surface Imaging System*) opracowany przez firmę Greenwood Engineering do rejestrowania uszkodzeń nawierzchni. Urządzenie pomiarowe jest zainstalowane z tyłu pojazdu pomiarowego (rys. 6). Zastosowany system oświetleniowy wysokiej klasy (diody LED) zapewnia uzyskanie zdjęć wysokiej jakości.

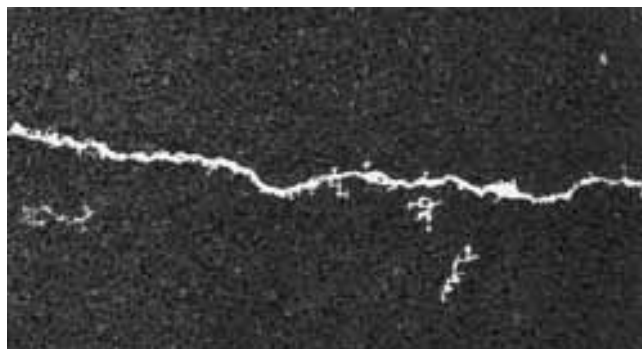
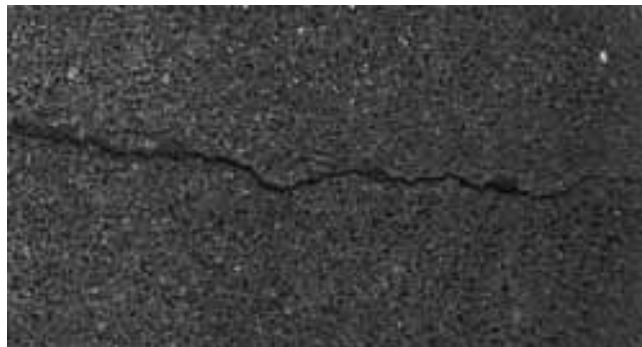


**Rys. 6.** Urządzenie pomiarowe do rejestrowania uszkodzeń nawierzchni [9]

**Fig. 6.** Measuring device for recording the surface defects [9]

System SIS generuje cyfrowy obraz powierzchni nawierzchni przebytej przez pojazd pomiarowy (rys. 7). Oprogramowanie do analizy obrazu i przetwarzania danych Linescan, pozwala uniknąć zniekształceń w narożnikach prostokątnego obrazu.

Zbieranie danych o uszkodzeniach nawierzchni to podstawowe zadanie każdego systemu oceny jej stanu. Rejestracja obrazu uszkodzenia wraz z jego lokalizacją pozwala na podjęcie decyzji o wykonaniu zabiegów potrzebnych do utrzymania nawierzchni w dobrym stanie.



**Rys. 7.** Rzeczywisty obraz uszkodzenia i analiza pęknięcia UCI = 20,57% (Unified Crack Index) [9]

**Fig. 7.** Actual image analysis of defects and cracks UCI = 20.57% (Unified Crack Index) [9]

## Przyszłość zarządzania i monitorowania infrastrukturą drogową

W listopadzie 2014 r. zostanie zakończony międzynarodowy projekt badawczy TRIMM (*Tomorrow's Road Infrastructure Monitoring & Management*) realizowany w ramach 7 Programu Ramowego Wspólnoty Europejskiej dotyczący przyszłości zarządzania i monitorowania infrastrukturą drogową [10]. Projekt rozpoczął się 1 grudnia 2011 r. i bierze w nim udział wiele ośrodków badawczych z Austrii, Belgii, Chorwacji, Danii, Finlandii, Francji, Holandii, Portugalii, Słowenii, Wielkiej Brytanii. Myślą przewodnią programu jest opracowanie skutecznego i zrównoważonego zarządzania infrastrukturą drogową.

Rozwój technologii wykrywania i przetwarzania informacji umożliwia wdrażanie nowych technik monitorowania, które dostarczają kluczowych informacji do zarządzania drogami. Stosowanie nowoczesnych technik może poprawić wydajność oceny stanu technicznego nawierzchni sieci drogowej. Ogólnym założeniem TRIMM jest zbieranie, przetwarzanie i wizualizacja danych dla potrzeb monitorowania oraz opracowanie sposobów analizy kosztów i korzyści wynikających z technik monitorowania i wykorzystania

ich w zarządzaniu zasobami.

Zidentyfikowane, kluczowe technologie do monitorowania nawierzchni drogowych i mostów zostaną zbadane w celu poprawy sposobów przetwarzania danych, interpretacji wyników oraz wskaźników. Wreszcie, aspekty realizacji wskaźników w zarządzaniu zasobami będą badane w celu dostarczenia informacji na temat obszarów zastosowań, wartości dodanych i procedur.

## Literatura

- [1] Sztukiewicz R.: Wybrane badania nieniszczące w budowlach komunikacyjnych; 33 Kraj. Konf. Badań Nieniszcz., Poznań - Licheń, Zeszyty Problemowe, Badania nieniszczące, Nr 9, 2004, s. 257 - 274, ISBN 83-87982-31-8.
- [2] Sztukiewicz R.: Wykorzystanie badań ultradźwiękowych do diagnozy nawierzchni asfaltowej, 42 Kraj. Konf. Badań Nieniszcz., Szczecin, 2013, Przegląd Spawalnictwa 12/2013, s. 162-166.
- [3] Sztukiewicz R.: Badania nieniszczące w budownictwie drogowym; 29 Kraj. Konf. Badań Nieniszcz., Krynica 2000, s. 193-199.
- [4] Sztukiewicz R.: Badania nieniszczące konstrukcji nawierzchni drogowej; 34 Kraj. Konf. Badań Nieniszcz., Zakopane, Zeszyty Problemowe, Badania nieniszczące, 2005, s. 202-209.
- [5] Sztukiewicz R.: Badania nośności nawierzchni drogowej ugięciomierzem laserowym HSD; 35 Kraj. Konf. Badań Nieniszcz., Szczyrk 2006, Zeszyty Problemowe, Badania nieniszczące, Nr 11, 2006, s. 181-188.
- [6] Sztukiewicz R.: Przegląd metod nieniszczących stosowanych w drogownictwie; 38 Kraj. Konf. Badań Nieniszcz., Poznań - Licheń, Zeszyty Problemowe, Badania nieniszczące, Nr 14, Poznań, 2009, R-15, s. 29, ISBN 978-83-929752-0-5, Płyta CD, Art. SIII 1, s. 1-10.
- [7] Sztukiewicz R.: System mobilnego skanowania laserowego pasa drogowego; 39 Kraj. Konf. Badań Nieniszcz., Szczyrk, Zeszyty Problemowe, Badania nieniszczące, Nr 15, Szczyrk, 2010, ISBN 978-83-87982-62-1, Płyta CD, R06, s. 1-6.
- [8] Sztukiewicz R.: Badania nośności nawierzchni drogowej ugięciomierzem laserowym TSD (Traffic Speed Deflectometer); 41 Kraj. Konf. Badań Nieniszcz., Toruń, 2012, CD, R19, s. 92-95.
- [9] <http://www.greenwood.dk>
- [10] <http://trimm.fehrl.org/>

## Zakład Inżynierii Spajania Politechniki Warszawskiej Sekcja Spawalnicza SIMP oraz Przegląd Spawalnictwa

serdecznie zapraszają do udziału

## w 57. Naukowo-Technicznej Konferencji Spawalniczej

pod hasłem

### ***Innowacje w inżynierii spajania***

która odbędzie się w dniach

**19-21 października 2015 r.**

Tematyka konferencji obejmuje wszystkie zagadnienia naukowo-techniczne z szeroko pojętej dziedziny inżynierii spajania.

Konferencja odbędzie się na terenie

**Windsor Palace Hotel\*\*\*\* w Jachrance**

oddalonej od centrum Warszawy o ok. 40 km

[www.windsorhotel.pl](http://www.windsorhotel.pl)

Informacje na temat konferencji będą umieszczane na stronie internetowej:  
[www.zis.wip.pw.edu.pl/konferencja](http://www.zis.wip.pw.edu.pl/konferencja)

Kontakt do Organizatorów:

tel/fax: +48 22 8499621; +48 22 2348402