



JACEK SUDYKA

Institut Badawczy
Dróg i Mostów
jsudyka@ibdim.edu.pl



TOMASZ MECHOWSKI

Institut Badawczy
Dróg i Mostów
tmechowski@ibdim.edu.pl

Pilotażowe badania porównawcze ugięciomierzy TSD i FWD

Skuteczne zarządzanie siecią drogową to odpowiednio dobrany i wdrożony system utrzymania nawierzchni PMS (ang. *Pavement Management System*), działający w oparciu o nowoczesne rozwiązania techniczne. Uzyskanie wysokiej skuteczności takiego systemu wymusza opracowanie i stosowanie zaawansowanych urządzeń wspomagających kreowanie polityki utrzymaniowej, której głównym celem powinno być efektywne wydawanie publicznych pieniędzy. Narzędzia wspomagające PMS w tym zakresie to

nowoczesne urządzenia pomiarowe, o bardzo wysokiej wydajności działania, mogące w bardzo krótkim czasie dostarczyć elementarne dane o stanie nawierzchni. Takimi nowoczesnymi urządzeniami są niewątpliwie ugięciomierze laserowe (fot. 1).

Ze względu na swą dużą wydajność ugięciomierze laserowe stosowane są na sieciach drogowych do wykonywania pomiarów, których podstawowym celem jest wskaźnikowa weryfikacja oraz identyfikacja miejsc o obniżonej nośności. Dzięki nieporównywalnej z innymi ugięciomierzami prędkości działania, TSD pozwala zaktualizować w ciągu jednego roku dane o stanie dużej sieci drogowej. W efekcie zwiększa się zdecydowanie skuteczność zarządzania siecią drogową, a także ogranicza się koszty społeczne związane z utrudnieniami w ruchu i ryzykiem wypadków, jak to ma miejsce w przypadku użycia urządzeń wykonujących pomiary stacjo-

narne, takich jak ugięciomierz dynamiczny – FWD (ang. *Falling Weight Deflectometer*).

Technologiczne zaawansowanie konstrukcji ugięciomierzy laserowych wyprzedza nieco wiedzę w zakresie przetwarzania danych i wymaga jeszcze wielu badań, których celem jest między innymi określenie czynników mających wpływ na jakość uzyskiwanych wyników pomiarów. Dlatego jednym z pierwszych etapów zastosowania przez Instytut Badawczy Dróg i Mostów (IBDiM) ugięciomierza laserowego TSD była analiza ugięć i ich porównanie z danymi rejestrowanymi ugięciomierzem dynamicznym FWD.

Opis systemu pomiarowego ugięciomierza TSD

Ugięciomierz laserowy TSD (fot. 2) wykorzystywany przez IBDiM od 2011 r. jest bardzo nowoczesnym urządzeniem, którego niewątpliwą zaletą jest pomiar ugięć w rzeczywistych warunkach drogowych. Ze względu na konstrukcję i rodzaj zastosowanych czujników nie występuje tu symulacja obciążenia, jak to jest w przypadku ugięciomierzy typu FWD, ale rzeczywiste obciążenie nawierzchni przez pojazd ciężarowy.

System pomiarowy TSD jest wyposażony w zestaw czujników i rejestratorów zainstalowanych w izolowanej naczepie kontenerowej. Naczepa jest zamontowana na podwoziu z pojedynczą osią obciążoną naciskiem 10 ton. Główną część pomiarową stanowi zestaw pięciu dopplerowskich czujników laserowych zainstalowanych na specjalnej, sztywnej belce wyposażonej w mechanizm utrzymujący stałą pozycję czujników względem nawierzchni (fot. 3). Czujniki są

rozstawione w odległościach: 0 m, 0,2 m i 0,3 m i 0,75 m od osi prawego koła naczepy, natomiast ostatni czujnik, używany jako referencyjny, jest zainstalowany w odległości 3,6 m od osi koła naczepy i około 3 m za osią napędową ciągnika. Taka pozycja tego czujnika umożliwia pomiar na nawierzchni umownie uznanej jako nieobciążonej, a uzyskane wyniki stanowią poziom odniesienia i korekty pozostających czujników. Każdy



Fot. 1. Ugięciomierze laserowe: a) prototyp TSD (ang. *Traffic Speed Deflectometer*) z 2005 r., wykorzystywany przez Duński Instytut Drogowy [<http://www.greenwood.dk>]; b) RWD (ang. *Rolling Wheel Deflectometer*) z 2005 r., wykorzystywany w Stanach Zjednoczonych A.P. przez Applied Research Associates dla FHWA [<http://www.ara.com/>]



Fot. 2. Pojazd wyposażony w ugięciomierz laserowy TSD



Fot. 3. Wnętrze pojazdu – belka z zainstalowanymi czujnikami laserowymi – element pomiarowy ugięciomierza TSD

z czujników jest połączony z jednostką kontroli, w której następuje rejestrowanie zmierzonych prędkości.

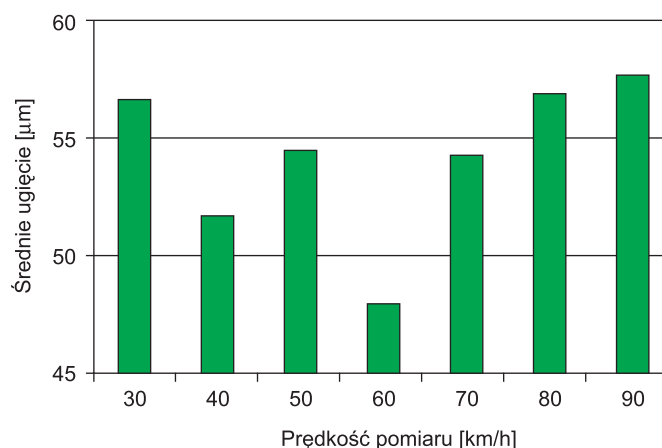
Pomiar ugięć polega na rejestracji chwilowej prędkości przemieszczenia poziomego czujników względem nawierzchni oraz zmian częstotliwości fali odbitej od powierzchni nawierzchni. Na podstawie tych danych określa się nachylenie ugięcia na każdym z czujników, wyznaczając w ten sposób czasę ugięcia każdego punktu pomiarowego, a tym samym maksymalne wartości ugięć rejestrowanych. Teoretyczny model obliczeniowy wykorzystywany na etapie rejestracji i przetwarzania danych został omówiony przez konstruktorów urządzenia między innymi w pracach [1], [2].

Wyniki badań

W ramach terenowych pomiarów pilotażowych wytypowano dziesięć odcinków dróg o różnej nośności nawierzchni, co pozwoliło rejestrować ugięcia w bardzo szerokim przedziale, to jest od 50 μm do 2000 μm . Pomiaru ugięciomie-

rzem TSD wykonano ze stałą prędkością 60 km/h i krokiem pomiarowym 1 m, natomiast badania ugięciomierzem FWD co 50 m. Na jednym z odcinków wykonano dodatkowe serie pomiarowe ugięciomierzem TSD z prędkościami 30, 40, 50, 70, 80 i 90 km/h oraz dodatkowy pomiar FWD. Badania przeprowadzono w jednym torze pomiarowym, tego samego dnia, przy zbliżonych wartościach temperatury powietrza i nawierzchni.

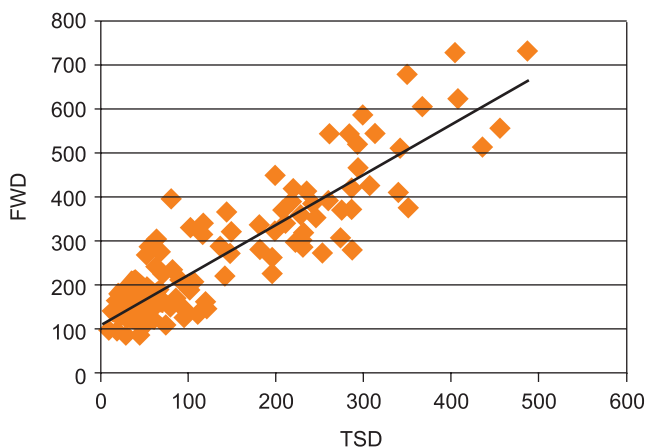
Wyniki pomiarów prowadzonych w kilku prędkościach pozwalają stwierdzić, że w zależności od prędkości różnice między rejestrowanymi ugięciami mogą sięgać 18% względem średniego ugięcia (rys. 1). Jest to dość duża różnica, niemniej zaznaczyć trzeba, że oprócz prędkości pomiaru nie mały wpływ na osiągnięte wyniki ma precyzja utrzymania tego samego toru pomiaru w kolejnych przejazdach, co w warunkach terenowych okazuje się zadaniem trudnym. Analiza danych wykazała, że elementem wpływającym w stopniu znacznie większym, niż zakładano, na powtarzalność rejestrowanych ugięć jest temperatura. Najmniejsze wartości ugięć zarejestrowano przy prędkości 60 km/h, przy czym pomiar przy tej prędkości został wykonany około dwie godziny wcześniej, w temperaturze nawierzchni o kilka stopni niższej niż pozostałe serie pomiarowe. Po skorygowaniu ugięć, według zależności przyjętej w [3], maksymalna różnica między rejestrowanymi ugięciami wyniosła 11% względem średniego ugięcia.



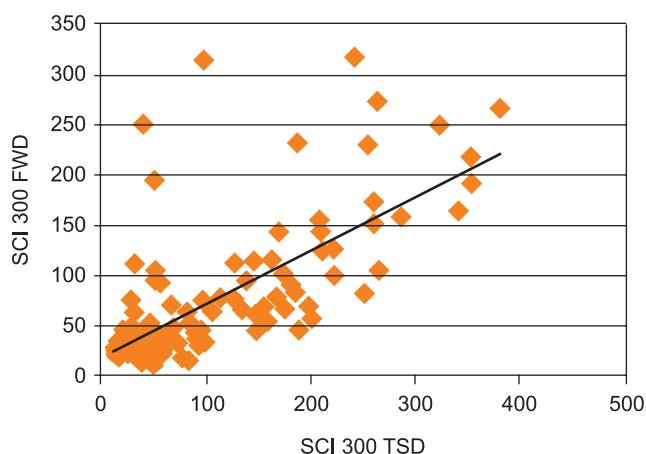
Rys. 1. Średnie wartości ugięć maksymalnych zarejestrowanych (bez korekty temperaturowej) przy prędkościach: 30, 40, 50, 70, 80 i 90 km/h

Przeprowadzone porównanie ugięć zarejestrowanych przez oba urządzenia (TSD i FWD) pokazuje, że zależności korelacyjne są na dobrym poziomie, zwłaszcza na odcinkach o konstrukcji podatnej i półsztywnej. Na odcinkach tych współczynnik dopasowania R wyniósł od 0,48 do 0,90. Na odcinkach o sztywnej konstrukcji nawierzchni, na których średnie ugięcie wynosiło poniżej 150 μm uzyskane zależności są na nieco gorszym poziomie, a współczynnik dopasowania R wyniósł od 0,34 do 0,68. Mimo tak dużej rozpiętości współczynnika dopasowania można przyjąć, że w ujęciu ogólnym uzyskane wyniki są satysfakcjonujące. W przypadku ugięć maksymalnych, zarejestrowanych na wszystkich odcinkach, współczynnik dopasowania R wyniósł 0,89 (rys. 2), natomiast dla wskaźnika SCI300 (ang.

Surface Curvature Index – różnica ugięć zarejestrowanych w osi obciążenia i w odległości 300 mm od osi obciążenia) współczynnik ten osiągnął wartość 0,72 (rys. 3). Jest to poziom oczekiwany jako minimalny dla TSD na obecnym etapie pilotażowych badań porównawczych.



Rys. 2. Zależność wyników pomiarów między FWD i TSD obliczona dla ugięć maksymalnych



Rys. 3. Zależność wyników pomiarów między FWD i TSD obliczona dla wskaźnika SCI300

Należy przy tym dodać, że tak jak w pomiarach z różnymi prędkościami, tak i w tym przypadku elementem ograniczającym uzyskanie lepszych zależności jest precyzja utrzymania tego samego toru pomiaru oraz błędy dystansu rejestrowanego przez oba urządzenia. Wyeliminowanie tego typu błędów jest szczególnie trudne w warunkach drogowych, dlatego kolejna seria pomiarowa przewidywana jako faza ostatecznej kalibracji będzie wykonana, między innymi, z zastosowaniem fotokomórek wyzwalających start i koniec pomiaru.

Wnioski

Pierwsze pomiary ugięć wykonane przy pomocy ugięciomierza laserowego TSD pozwoliły zapoznać się z metodyką pomiarową, ograniczeniami systemu pomiarowego i jego technicznymi aspektami. Zdobyte doświadczenia zarówno

w prowadzeniu pomiarów, jak i przetwarzaniu danych pozwalają na potwierdzenie zasadniczego wniosku dotyczącego zastosowania tego ugięciomierza. Kluczową zaletą TSD jest szybkość i efektywność pozyskiwania danych, co jest jednocześnie zasadniczym warunkiem wykonywania tego typu badań w ramach systemowej oceny stanu sieci drogowej. Duża wydajność tej metody jest możliwa dzięki zastosowaniu zaawansowanej technologii, pozwalającej na prowadzenie pomiarów w normalnych warunkach drogowych. Trzeba jednak pamiętać, że zmiany prędkości pojazdu oraz zachowanie toru jazdy mają wpływ na uzyskiwane wyniki pomiarów.

Wyjątkowość ugięciomierza TSD polega również na tym, że zbudowany został na bazie samochodu ciężarowego z naczą i generowane przez niego obciążenie na nawierzchnię odpowiada rzeczywistym warunkom drogowym, a nie jak w innych urządzeniach – symulacji takich warunków.

W ramach planowanych przez IBDiM dalszych prac przewiduje się przeprowadzenie badań porównawczych ugięciomierzy FWD i HWD. W bieżącym roku planowane są dodatkowe badania porównawcze z prototypem ugięciomierza laserowego opracowanego na potrzeby Duńskiej Dyrekcji Dróg (ang. Danish Road Directorate – DRD). Przewiduje się również przeprowadzenie pomiarów wdrożeniowych w ramach eksperymentalnych programów badawczych, obejmujących małe sieci drogowe zarówno w Polsce, jak i za granicą.

Bibliografia

- [1] Krarup J., Rasmussen S., Aagaard L., Hjorth P. G., *Output from the greenwood traffic speed deflectometer*. 2006, Pobrano z lokalizacji <http://www.greenwood.dk/>: <ftp://195.97.146.80/tsd/pdf/ArticleNov2006.pdf>
- [2] Rasmussen S., Aagaard L., Baltzer, S., Krarup J., *A comparison of two years of network level measurements with the Traffic Speed Deflectometer*. Materiały z konferencji Transport Research Arena Europe. Ljubljana, Słowenia 2008
- [3] Sybilski D., Grupa robocza, *Katalog wzmocnień i remontów nawierzchni podatnych i półsztywnych*, Instytut Badawczy Dróg i Mostów, Warszawa 2001 ■

Z prasy zagranicznej

Tureckie zaangażowanie w Turkmenistanie

90 mostów wybudowanych w Turkmenistanie w ciągu ostatnich 24 miesięcy, przez tureckiego przedsiębiorcę, znacznie poprawiło infrastrukturę transportową kraju.

Budująca te mosty firma Net Yapi, będąca filią grupy NATA, otrzymała kontrakty o wartości 287 mln USD na budowę mostów o łącznej długości 11 km. Prace zostały rozpoczęte w 2008 r. i zakończone po 700 dniach.

World Highways, XI-XII/2010

JG

Inwestycja CEMEX

Firma CEMEX Francja oficjalnie otworzyła, w południowo-zachodniej Francji, zmodernizowany kamieniołom Soreze. Przedsiębiorstwo zainwestowało 9 mln euro w wytwórnię kruszyw, aby zwiększyć automatyzację produkcji oraz zredukować pył i hałas powstający w trakcie produkcji.

Firma zamierza utrzymać produkcję na obecnym poziomie wynoszącym 500 tys. ton kruszyw rocznie.

AGGREGATES, XI-XII/2010

JG