

Wpływ temperatury na wyniki badań kontrolnych realizowanych w ramach pomiarów nośności nawierzchni drogowych przy użyciu ugięciomierza TSD



mgr inż.
JACEK SUDYKA
Instytut Badawczy Dróg i Mostów
ORCID: 0000-0002-4360-2365



mgr inż.
PRZEMYSŁAW HARASIM
Instytut Badawczy Dróg i Mostów
ORCID: 0000-0002-6922-8527



dr hab. inż.
MIROŚLAW GRACZYK, PROF. IBDIM
Instytut Badawczy Dróg i Mostów
ORCID: 0000-0002-0601-7554



mgr inż.
TOMASZ MECHOWSKI
Instytut Badawczy Dróg i Mostów
ORCID: 0000-0001-9366-1489

Nośność konstrukcji nawierzchni drogowych jest traktowana jako kluczowy element planowania utrzymania i procesu decyzyjnego na poziomie sieci. Biorąc pod uwagę ugięcia jako bezpośredni wskaźnik nośności nawierzchni, można precyzyjnie oraz skutecznie ocenić zarówno odcinki, jak i całą sieć drogową.

Wstęp

Dane o stanie technicznym nawierzchni są ważnym elementem systemu zarządzania siecią drogową. Zbierane z ustaloną częstotliwością, umożliwiają monitorowanie aktualnego stanu sieci oraz pozwalają na prognozowanie zmian jej stanu w przyszłości, co jest istotne w procesie wprowadzania tak zwanych praktywnych strategii zarządzania infrastrukturą drogową [1].

Ocena nośności nawierzchni na podstawie pomiaru ugięć to jedno z podstawowych działań prowadzonych w ramach każdej nowoczesnej strategii zarządzania, a ugięciomierze laserowe [2], [3] to urządzenia

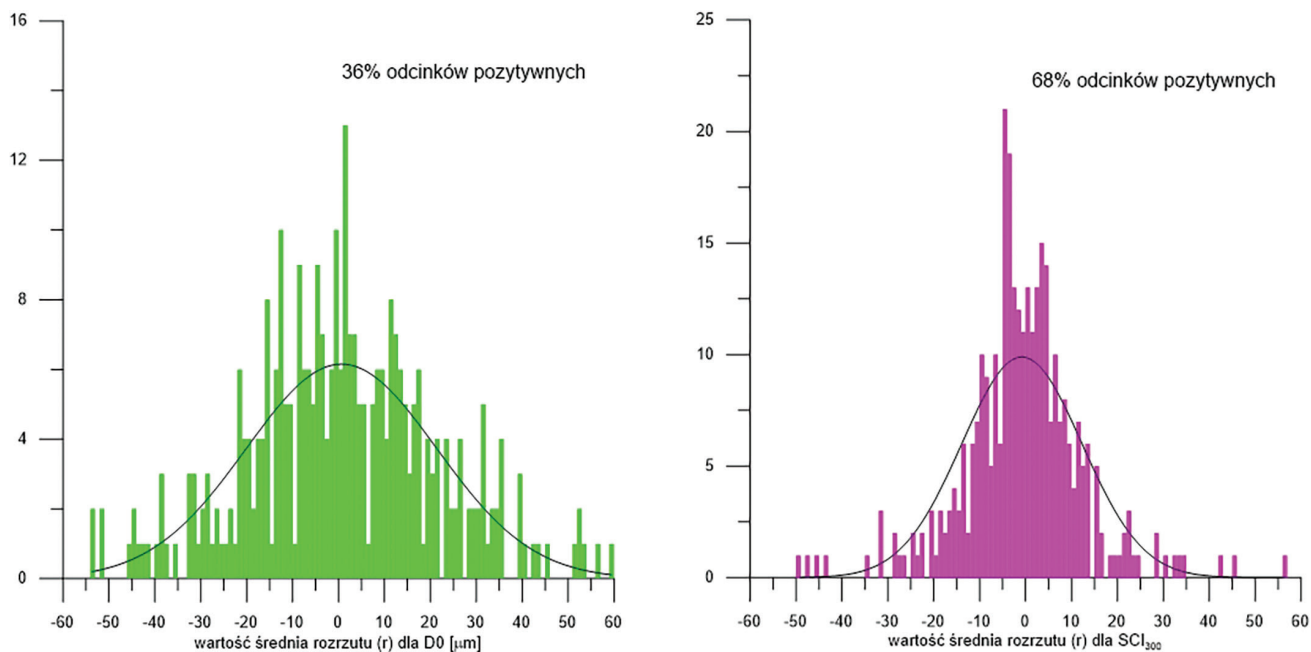
o potwierdzonej już skuteczności w stosowaniu na sieciach drogowych. Najbardziej rozpowszechnionym urządzeniem opartym na technologii laserowej jest TSD (Traffic Speed Deflectometer) [4]. Dzięki wyeliminowaniu kontaktowego sposobu pomiaru możliwe jest prowadzenie badań z prędkością zbliżoną do ruchu drogowego, co przekłada się na wysoką efektywność pomiaru oraz bezpieczeństwo użytkowników ruchu drogowego. Jest to olbrzymia zaleta i przewaga nad ugięciomierzami typu FWD [5], które wymagają około 2 minut na realizację pomiaru w jednym punkcie. Od ponad dziesięciu lat urządzenie to jest wykorzystywane w ramach różnych programów badawczo-wdrożeniowych realizowanych zarówno przez Instytut Badawczy Dróg i Mostów, jak i inne jednostki badawcze na całym świecie. Ponadto w ostatnich latach administracje drogowe kilku krajów europejskich zrealizowały projekty, których charakter wskazuje na rutynowe podejście do badań TSD, czyli takie jak do innych pomiarów wykonywanych regularnie na sieci drogowej. Projekty te zrealizowano przy współdziałaniu

Instytutu Badawczego Dróg i Mostów między innymi w ramach programu PEHKO w Finlandii oraz dla administracji drogowych Norwegii, Bawarii oraz Polski.

Wraz z realizacją rutynowych pomiarów ugięć w sieci drogowej koniecznością staje się zadbanie o utrzymanie wysokiej jakości danych. W tej kwestii można skorzystać z rozwiązań wypracowanych dla innych niszczących metod pomiarowych stosowanych na poziomie sieci, takich jak przedstawione między innymi w [6], [7]. Przeniesienie wprost niektórych procedur jest uzasadnione, ponieważ wiele z czynników mających potencjalny wpływ na jakość danych jest wspólnych dla większości typów pomiarów automatycznych lub półautomatycznych, ale w pomiarach ugięć mamy do czynienia z kilkoma dodatkowymi czynnikami [8], [9]. Celem niniejszego artykułu jest przedstawienie procesu kontroli jakości danych ze szczególnym uwzględnieniem aspektu wpływu temperatury nawierzchni na rezultaty badań kontrolnych prowadzonych w trakcie pomiarów rutynowych.

Tab. 1. Wartości tolerancji powtarzalności pomiarów ugięć stosowane w WDSN [10]

| parametr | wartość średnia rozrzutu (r) | odchylenie standardowe średniej rozrzutu (σ) |
|-------------------------------|----------------------------------|---|
| D_0 [μm] | 10 | 70 |
| SCI_{300} [μm] | 10 | 70 |



Rys. 1. Histogram średnich wartości różnic na 1 km odcinkach kontrolnych dla ugięć maksymalnych D0 (wykres z lewej) i wskaźnika SCI300 (wykres z prawej). Niemal 36% odcinków spełniało jednocześnie kryteria D0 i wskaźnika SCI300

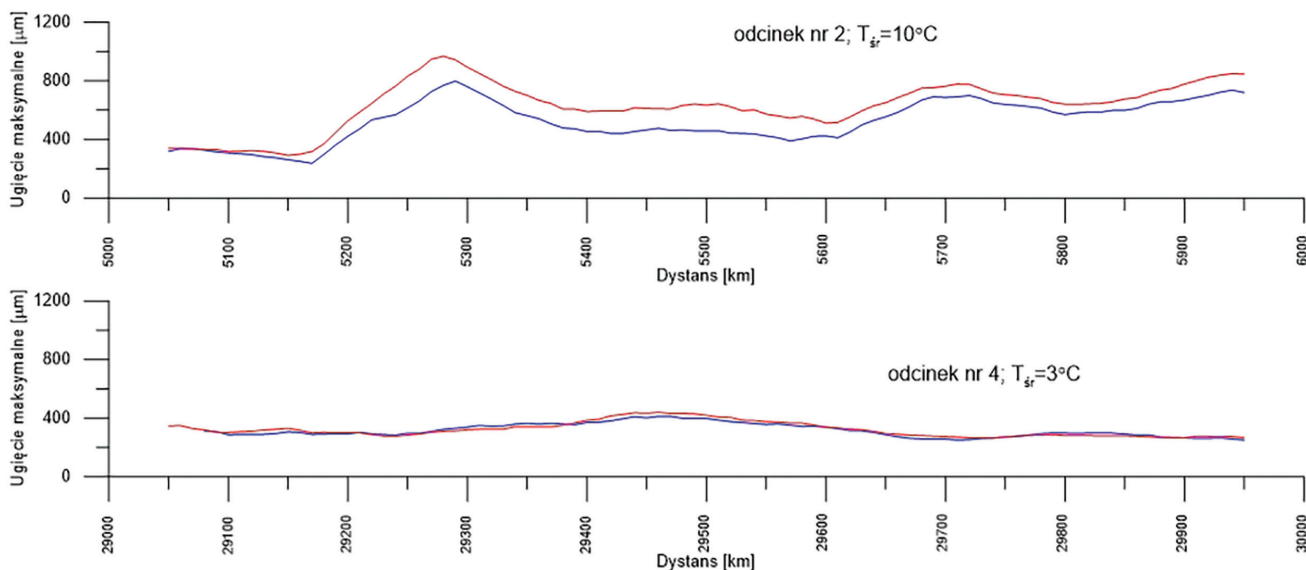
Obecne wymagania dotyczące zapewnienia jakości pomiarów ugięć

Zapewnienie jakości pomiarów nośności nawierzchni urządzeniem TSD jest opisane w standardach przyjętych przez zamawiających takie pomiary. Podstawowym sposobem zapewnienia jakości jest kontrola własna wykonawcy badań prowadzona zgodnie z wymaganiami tych standardów. W Polsce wymagania te są podane w Wytycznych Diagnostyki Stanu Technicznego Nawierzchni (WDSN) [10]. W przyjętej metodyce zapewnienia jakości pomiar referencyjny jest wykonywany w ramach prowadzonych pomiarów diagnostycznych. Pomiar powtórny kontroli

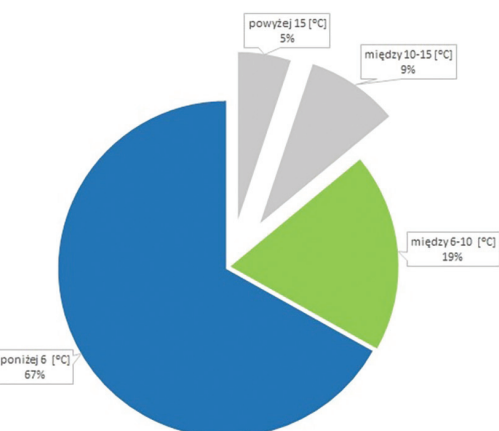
własnej powinien zostać wykonany nie wcześniej niż po sześciu godzinach i nie później niż po sześćdziesięciu godzinach po wykonaniu pomiaru referencyjnego. W analizie danych z odcinka o długości 1 km dla obu pomiarów wyznacza się rozrzut ugięcia D_0 [μm] oraz wskaźnika SCI_{300} [μm] oraz wartość średniej rozrzutu (r), a także odchylenie standardowe średniej rozrzutu (σ). Pomiar kontrolny zostaje zaakceptowany, jeżeli porównane wartości średniej rozrzutu i jej odchylenia standardowego mieszczą się w granicach tolerancji (tab. 1.). Obecna metodyka pomiaru wpływu temperatury nawierzchni na wyniki pomiarów ugięć.

Analiza jakości pomiarów ugięć

Przeprowadzono analizę wyników pomiarów ugięć 314 odcinków kontrolnych o długości 1 km każdy, wykonanych na drogach wojewódzkich w Polsce oraz na drogach o podobnej charakterystyce w Niemczech i Norwegii. Spośród tego zbioru 112 odcinków spełniało kryteria D_0 oraz SCI_{300} , czyli prawie 36%. Na kolejnych 100 odcinkach (około 32%) zostało spełnione jedynie wymaganie dotyczące wskaźnika SCI300. Rozkład uzyskanych wartości (r) jako istotnie wpływającego na rezultat kontroli przedstawiono na rys. 1. Odchylenie standardowe średniej rozrzutu (σ)



Rys. 2. Porównanie ugięć maksymalnych D0 zarejestrowanych w pomiarze rutynowym (linia niebieska) oraz kontrolnym (linia czerwona) na odcinkach nr 2 i 4. Podane wartości temperatur reprezentują średnią różnicę między pomiarem rutynowym a kontrolnym



Rys. 3. Rozkład średnich różnic temperatur nawierzchni zarejestrowanych w pomiarze rutynowym i kontrolnym

obu wielkości stanu zostało spełnione na wszystkich odcinkach.

Gdyby pominąć kwestię temperatury nawierzchni, to tak mały odsetek odcinków, które pozytywnie przeszły kontrolę, byłby zaskakujący, tym bardziej że współczynnik determinacji R^2 dla D_0 jak i SCI_{300} obliczanych jako średnie z każdych 100 m wyniósł 0,92. Dane te potwierdzają, że zmiany ugięć są rejestrowane przez urządzenie w taki sam sposób, ale ich wartości zmieniają się wraz z temperaturą. Jako przykład można podać tu odcinki nr 2 i 4 (rys. 2), na których średnia różnica temperatur wyniosła odpowiednio 10°C i 3°C . Wartości (r) na tych odcinkach wyniosły odpowiednio $50\ \mu\text{m}$ (nie spełnia kryterium kontroli) i $0,5\ \mu\text{m}$ (spełnia kryterium kontroli).

Z kolei różnicę D_0 i SCI_{300} w liczbie odcinków pozytywnie zakwalifikowanych można wytłumaczyć, przyjmując założenie, że cała czasza ugięć zmienia się proporcjonalnie wraz ze zmianą temperatury nawierzchni. Wskaźnik SCI_{300} jest w istocie różnicą ugięć D_0 i D_{300} , a to sprawia, że jest on mniej wrażliwy na wpływ temperatury nawierzchni. Zatem porównywanie wskaźników SCI_{300} na etapie kontroli własnej jest obarczone mniejszym błędem.

Przeprowadzona analiza średnich różnic temperatur pomiaru wykazała, że 67% odcinków zbadano przy różnicy temperatury mniejszej niż 6°C , 19% przy różnicy $6-10^\circ\text{C}$ i 14% z różnicą powyżej 10°C (rys. 3.). Żaden z odcinków, na których zarejestrowana średnia różnica temperatur wyniosła powyżej 10°C , nie spełnił wymagań D_0 (r) kontroli własnej.

Podsumowanie

Przedstawione wyniki badań i ich analiza wskazują, że średnia różnica temperatury między pomiarem rutynowym a kontrolnym większa niż 10°C może powodować istotne zafalszowanie uzyskanego wyniku o oceny kontroli własnej zapewnienia jakości pomiarów. Jak jednocześnie wykaza-

no, porównywanie wskaźników SCI_{300} na etapie kontroli własnej jest obarczone mniejszymi błędami, co może sugerować, że ponad 30% nie uzyskało pozytywnego wyniku przez brak dodatkowych wymagań ograniczających możliwość wykonania pomiaru kontrolnego przy zbyt dużej różnicy temperatur obszaru nawierzchni.

Uzyskane wyniki analizy wskazują na potrzebę zmiany podejścia w metodyce kontroli własnej. Rozwiązaniem jest zmniejszenie odstępu czasowego między oboma pomiarami do maksymalnie dwóch godzin, zamiast jak dotychczas – nie mniej niż sześć.

Jednocześnie należy podkreślić, że systematyczne prowadzenie kontroli własnej w trakcie pomiarów na sieci drogowej jest ważnym czynnikiem w procesie zapewnienia jakości uzyskiwanych wyników badań.

Literatura:

[1] Zofka A., Proaktywna strategia zarządzania elementami infrastruktury drogowej, Studia i materiały IBDIM, Warszawa 2019.
 [2] Deep P., Andersen M.B., Rasmussen S., Marradi A., Thom N.H., Presti D.L. (2020) Simulating Deflection of a Jointed Rigid Pavement Under Rolling Wheel Deflectometer (RAPTOR) Loading. In: Raab C. (eds) Proceedings of the 9th International Conference on Maintenance and Rehabilitation of Pavements – Mairepav9. Lecture Notes in Civil Engineering, vol 76. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-48679-2_80.
 [3] Zofka A., Sudyka J., Maliszewski M., Harasim P., Sybilski D., Alternative Approach for Interpreting Traffic Speed Deflectometer Results. Transportation Research Record. 2014;2457(1):12-18. doi:10.3141/2457-02.
 [4] Shrestha S., Katica S.W., Flintsch G.W., (2019). Field demonstration of the traffic speed deflectometer, Pavement and Asset Management: Proceedings of the World Conference on Pavement and Asset Management (WCPAM 2017), June 12-16, 2017, Baveno, Italy (1st ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9780429264702>.
 [5] Crook A.L., Montgomery S.R., Guthrie W.S., Use of Falling Weight Deflectometer Data for Network-Level Flexible Pavement Management. Transportation Research Record. 2012;2304(1):75-85. doi:10.3141/2304-09.
 [6] Flintsch G.W., McGhee K.K., Quality Management of Pavement Condition Data Collection. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. 2009. Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/14325>.
 [7] Diagnostyka stanu nawierzchni i wybranych elementów korpusu drogi – wytyczne stosowania, Załącznik do Zarządzenia Nr 21 Generalnego Dyrektora Dróg Krajowych i Autostrad z dnia 17.06.2019 roku, nr 34, s. 1-83, 2015.
 [8] Zofka A., Graczyk M., Rafa J., 15-3650 Qualitative Evaluation Of Stochastic Factors Affecting The Traffic Speed Deflectometer Results. TRB (Transportation Research Board) 94th Annual Meeting, Washington, 11-15 January 2015, USA TRB Washington DC USA 2015, Monograph Accession # 01550057 Monograph Title:TRB 94th Annual Meeting Compendium of Papers Washington 2015.
 [9] Graczyk M., Zofka A., Rafa J., Sudyka J., Analytical solution of pavement deflections and its application to the TSD measurements. 26th ARRB Conference – Research driving efficiency, Sydney, New South Wales 2014.
 [10] Wytyczne Diagnostyki Stanu Technicznego Nawierzchni WDSN, Olsztyn 2018 <https://www.zdw.olsztyn.pl/strona-glowna/dokumenty-techniczne.html#>.

DOI: 10.5604/01.3001.0015.3861

PRAWIDŁOWY SPOSÓB CYTOWANIA

Sudyka Jacek, Harasim Przemysław, Graczyk Mirosław, Mechowski Tomasz, 2021, Wpływ temperatury na wyniki badań kontrolnych realizowanych w ramach pomiarów nośności nawierzchni drogowych przy użyciu ugięciomierza TSD, „Builder” 11 (292). DOI: 10.5604/01.3001.0015.3861

Streszczenie: Nośność konstrukcji nawierzchni drogowych jest traktowana jako kluczowy element planowania utrzymania i procesu de-

cyzyjnego na poziomie sieci. Biorąc pod uwagę ugięcia jako bezpośredni wskaźnik nośności nawierzchni, można precyzyjnie oraz skutecznie ocenić zarówno odcinki, jak i całą sieć drogową. Do prawidłowej oceny tego parametru niezbędna jest efektywna metoda pomiarowa oraz zapewnienie możliwie najwyższej jakości danych. Wykonanie pomiaru ugięć na poziomie sieci jest możliwe dzięki zastosowaniu ugięciomierza Traffic Speed Deflectometer (TSD), który jest najnowocześniejszym urządzeniem diagnostycznym na świecie, natomiast utrzymanie jakości danych powinno następować poprzez wdrażanie odpowiednich procedur kontrolno-pomiarowych. W artykule przedstawiono jedną z najczęściej stosowanych metod kontroli własnej pomiarów ugięć z wykorzystaniem ugięciomierza TSD oraz związany z tą metodą problem oceny wyników kontroli w kontekście różnic rejestrowanych wartości temperatur nawierzchni. Stwierdzono, że temperatura nawierzchni powinna być uwzględniona w procesie kontroli zapewnienia jakości pomiarów ugięć tym urządzeniem.

Słowa kluczowe: ugięciomierz TSD, pomiar sieci drogowej, kontrola danych

Abstract: INFLUENCE OF TEMPERATURE ON RESULTS OF CONTROL TESTS CARRIED OUT WITHIN THE FRAMEWORK OF LOAD CAPACITY MEASUREMENTS OF ROAD PAVEMENTS WITH THE USE OF TSD DEFLECTOMETER. Bearing capacity of the pavement structures is important part of the modern Pavement Management Systems (PMS). Thus bearing capacity has to be considered as key element of maintenance planning as well as decision-making process at the network level. Considering deflection as a direct indication of pavement bearing capacity, it is possible to precisely and effectively assess individual sections or entire road network. Nowadays, such measurements are possible on the network level thanks to Traffic Speed Deflectometer (TSD) which is a state-of-the-art diagnostic device in the world. This paper presents one of the most commonly used methods for self-inspection of deflection measurements using TSD deflectometer and the related problem of evaluating the results of the inspection in the context of differences in recorded pavement temperature values. **Keywords:** TSD deflectometer, road network measurement, data control