

Pomiary (nie)ciągłe współczynnika tarcia nawierzchni drogowych urządzeniem TWO



DARIUSZ GODLEWSKI

Politechnika Warszawska
d.godlewski@il.pw.edu.pl



STANISŁAW SZPINEK

Polska Inżynieria sp. z o.o.
s.szpinek@polskainzynieria.pl

Od nawierzchni drogowej oczekuje się, gdy chodzi o bezpieczeństwo jej użytkowników, iż obok nośności adekwatnej do założonej kategorii ruchu pojazdów oraz równości zapewniającej wymagany komfort jazdy, będzie ona szorstka, czyli gwarantująca dobrą przyczepność kół, której miarą jest współczynnik tarcia wzdłużnego (μ) jako parametr charakteryzujący długość drogi hamowania. Ze względu na dość złożone oddziaływanie wielu różnych czynników zewnętrznych, nie ma opracowanego jednego, uniwersalnego modelu w pełni opisu-

ującego zjawiska zachodzące na styku opony i nawierzchni podczas hamowania. Niemniej, w ogólnych rozważaniach można założyć, że w ruchu jednostajnym pojazdu nie obserwuje się poślizgu koła toczącego ($s = 0\%$), ponieważ prędkość liniowa osi koła ($v = \text{const.}$) jest równa prędkości obwodowej punktu leżącego na obwodzie opony ($v_o = v$). Zaś w przypadku koła hamowanego, gdy prędkość obwodowa podlega zmniejszeniu, występuje poślizg niepełny ($v > v_o > 0$, to $0\% < s < 100\%$), a skrajnie – dla koła zablokowanego – poślizg pełny ($v > 0$ i $v_o = 0$, to $s = 100\%$). Choć na etapie projektowania nawierzchni jezdni może być prognozowana jej poślizgowość¹ na podstawie selekcji materiałów budowlanych pod względem właściwości przeciwpoślizgowych oraz założonej technologii wykonania (tarcie, makrotekstura itp.), to zawsze wymaga się, by była ona sprawdzona *in situ*. Z empirycznych badań różnych typów nawierzchni drogowych wynika, że maksymalna wartość współczynnika tarcia wzdłużnego (μ_{max}), mierzonego z reguły w ustalonych warunkach i stałej prędkości, występuje przy niepełnym poślizgu koła w przedziale: $10\% < s < 30\%$, który zapewnia największą skuteczność hamowania pojazdu. I właśnie ten zakres niepełnego poślizgu wykorzystuje się w układach wspomagających hamowanie pojazdu, by zapobiec blokowaniu się kół (ABS). A także z tego zakresu wybiera się stałą wartość wymuszonego poślizgu, jaki stosuje się w specjalistycznych urządzeniach mierzących poślizgowość nawierzchni jezdni w sposób ciągły, np. TWO (*Traction Watcher One*), $s = 17,8\%$ [16] albo *ViaFriction*, gdzie s może być deklarowane z przedziału $0\% - 80\%$ [19]. Natomiast zasadę koła zablokowanego ($s = 100\%$) stosuje się w urządzeniach pomiarowych, które

są używane w nieciągłych pomiarach poślizgowości nawierzchni jezdni, np. w aparacie SRT-3 (*Skid Resistance Tester*) [2] i [9], którym pomiar współczynnika tarcia wykonuje się metodą próbkowania na odcinkach o długości ok. 10 m w miejscach (punktach) odpowiednio od siebie oddalonych, ze względu na czas potrzebny do zadziałania układu cyklicznie hamującego koła pomiarowe.

W obowiązujących w Polsce przepisach, które odnoszą się do metod badań i oceny właściwości przeciwpoślizgowych nawierzchni dla autostrad płatnych [6] i dróg publicznych, np. [5], [7] i [12], zostały sformułowane ogólne kryteria oceny stanu nawierzchni jezdni dla współczynnika tarcia mierzonego urządzeniem z pełną blokadą koła pomiarowego (100% poślizg opony testowej na zwilżonej wodą nawierzchni) przy wybranej stałej prędkości jazdy (30, 60, 90 i 120 km/h) albo dla wyniku równoważnego, czyli otrzymanego z przeliczenia współczynnika poślizgowości mierzonego innym urządzeniem pomiarowym. Takie funkcje przeliczeniowe zostały już opracowane w przypadku wyników pomiaru z kilku urządzeń mierzących poślizgowość nawierzchni w sposób ciągły, np. urządzenia typu SAAB, używane do oceny stanu nawierzchni lotniskowych [9], czy typu T2GO w zastosowaniach lokalnych do nawierzchni drogowych [13], a także typu TWO [21] przeznaczonego do oceny stanu nawierzchni drogowo-lotniskowych.

W artykule zostaną przedstawione oceny powtarzalności i odtwarzalności wyników pomiaru współczynnika tarcia nawierzchni jezdni charakteryzujące zdolność pomiarową urządzeń SRT-3 i TWO, które otrzymano z analizy porównawczej zbiorów danych uzyskanych z pomiarów wykonanych na specjalnym odcinku kalibracyjnym o długości jednego kilometra w wyznaczonych dziesięciu punktach, [20], a w przypadku TWO także dla zbiorów danych z pomiarów ciągłych. W tym celu skorzystano ze statystycznych metod analizy wyników pomiaru, np. [1], [3], [4] i [11], zaś w obliczeniach i graficznej prezentacji wyników badań na wykresach posłużono się arkuszem kalkulacyjnym *Excel* oraz specjalistycznym pakietem programów *STATISTICA PL* [14].

Ogólna charakterystyka sprzętu pomiarowego

W przypadku porównywanych dwóch różnych typów aparatów pomiarowych: SRT-3 i TWO, współczynnik tarcia nawierzchni (mi) jest mierzony za pomocą jednośladowej przyczepki pomiarowej, przy czym w pierwszym urządzeniu jest ona zamontowana w osi pojazdu holującego, a w drugim urządzeniu w lewym śladzie jego kół (fot. 1).

¹ Dawniej tę cechę nawierzchni określano jako *szorstkość*, niekiedy *przyczepność*, a obecnie *właściwości przeciwpoślizgowe* w odniesieniu do łącznej oceny makrotekstury i współczynnika tarcia [6] albo do samej oceny współczynnika tarcia [5].



Fot. 1. Urządzenia SRT-3 i TWO. Widok ogólny przyczep do pomiaru współczynnika poślizgowości (tarcia) nawierzchni drogowych (fot. S. Szpinek)

Urządzenie SRT-3 (Skid Resistance Tester) jest doczeplnym urządzeniem pomiarowym produkcji IBDiM [2], które służy do pomiaru poślizgowości nawierzchni drogowych poprzez rejestrację dwóch równoważnych współczynników tarcia w układach siły (miF) i momentu (miM). Ogólnie zestaw pomiarowy składa się ze specjalnie wyposażonego samochodu holującego i jednokołowej przyczepki (fot. 2).

Współczynnik tarcia jest mierzony przy pełnej blokadzie koła pomiarowego (100% poślizg ze stałą prędkością V) w tzw. punkcie pomiarowym, czyli na jednostkowym odcinku nawierzchni o długości ok. 10 m. Pomiar może być wyzwalany automatycznie w punktach oddalonych co 50 m lub 100 m, albo ręcznie przez operatora w dowolnie wybranych punktach, lecz nie częściej niż co ok. 50 m. W zbiorze wyników SRT zapisuje się uśrednione wartości mi z rozdzielczością 0,001 oraz V z 1,0 km/h.

W różnych okresach użytkowania tego urządzenia pomiarowego były stosowane innego typu opony testowe, co było (i zapewne jest) przedmiotem wielu nieporozumień, np. [8], gdyż z pomiarów otrzymywano inne co do wartości współ-

czynniki tarcia niż te, jakie są podane w obu obowiązujących rozporządzeniach [5] i [6], a także w wymaganiach SOSN [7] i WT-2:2008 [12] oraz szczegółowych specyfikacjach technicznych, gdzie zamieszczono dla tej samej klasy dróg różne skale oceny. Aktualnie wdrażana jest opona typu *PIARC*, w przypadku której został ustalony empiryczny współczynnik przeliczeniowy względem poprzednio używanej opony typu *Barum Bravuris* [17] i [18].

Urządzenie TWO (Traction Watcher One) jest doczeplnym urządzeniem pomiarowym produkcji firmy Olsense z Norwegii, które służy do pomiaru *poślizgowości* nawierzchni drogowych i lotniskowych [16]. Ogólnie zestaw pomiarowy składa się ze specjalnie wyposażonego samochodu holującego i dwukołowej przyczepki (fot. 3).

Przyczepka na czas wykonywania pomiaru jest montowana z tyłu pojazdu w lewym śladzie kół i może być ustawiona za pomocą siłownika w jednej z dwóch pozycji: transportowej (z kołami uniesionymi nad nawierzchnią jezdni) albo pomiarowej (z kołami dociśniętymi do nawierzchni ze stałą siłą 0,6 kN). Do pomiaru poślizgowości nawierzchni używa się dwóch takich samych kół z oponą zabezpieczoną (gładką), zgodną z normą ASTM 155, które są sprzężone ze sobą przekładnią łańcuchową. Pierwsze z nich jest toczne swobodnie po nawierzchni z ustaloną, stałą prędkością jazdy pojazdu holującego (V) od 5 km/h do 100 km/h, a drugie obraca się z wymuszonym poślizgiem 17,8% (zakres z przedziału pracy układu ABS).

Istota pomiaru poślizgowości polega na ciągłym mierzeniu siły oporu ciągniętego po nawierzchni jezdni wolniej obracanego drugiego koła, bezpośrednio przed którym jest ona w sposób kontrolowany zwilżana wodą ze zbiornika znajdującego się wewnątrz pojazdu holującego. Takie pomiary mogą być wykonywane także bez użycia wody, np. na nawierzchniach śliskich, oblodzonych itp. W zbiorze pomiarowym są zapisywane uśrednione wyniki pomiaru mi z rozdzielczością 0,01 oraz V z 0,1 km/h dla odmierzanych przez pierwsze z kół odcinków nawierzchni o deklarowanej długości nie mniejszej niż 0,5 m, zwykle przyjmuje się 10 m, które mogą być prezentowane graficznie na wykresie liniowym albo na mapie (rys. 1).

Fot. 2. Urządzenie SRT-3. Widok ogólny samochodu z przyczepką do pomiaru współczynnika poślizgowości (tarcia) nawierzchni drogowych (fot. S. Szpinek)





Fot. 3. Urządzenie TWO. Widok ogólny samochodu z przyczepką do pomiaru współczynnika poślizgowości (tarcia) nawierzchni drogowych i lotniskowych (fot. P. Dąbkowski)

Jednostkowa miara właściwości przeciwpoślizgowych

Właściwości przeciwpoślizgowe (bez oceny makrotekstury) są cechą eksploatacyjną nawierzchni jezdni, która w odczuciu użytkownika pojazdu wyraża jej zdolność do przenoszenia sił stycznych (przyczepności) między kołem poruszającego się pojazdu a nawierzchnią jezdni. W Polsce za jednostkową ocenę przyjmuje się współczynnik tarcia (μ), którego estymatą (oszacowaniem) jest jego wartość mierzona (mi) przy chwilowym pełnym poślizgu koła na ustalonym odcinku drogi, podczas jazdy pojazdu pomiarowego ze stałą prędkością. W praktyce takie pomiary realizuje się na odcinkach nawierzchni o długości 10 m w równoodległych punktach co 50 m lub 100 m (pomiar punktowy) albo co 10 m (pomiar ciągły).

Odcinkową miarą właściwości przeciwpoślizgowych w przypadku nawierzchni jezdni dróg publicznych i autostrad płatnych jest wartość miarodajna $M(mi)$, którą oblicza się dla określonego zbioru współczynników tarcia mi o liczebności n ze wzoru:

$$M(mi) = E(mi) - D(mi) \quad (1)$$

w którym:

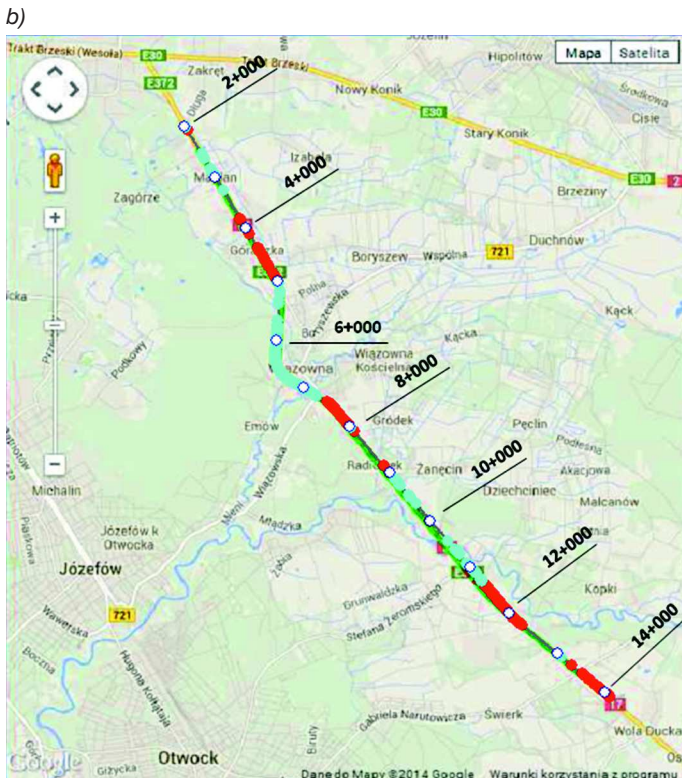
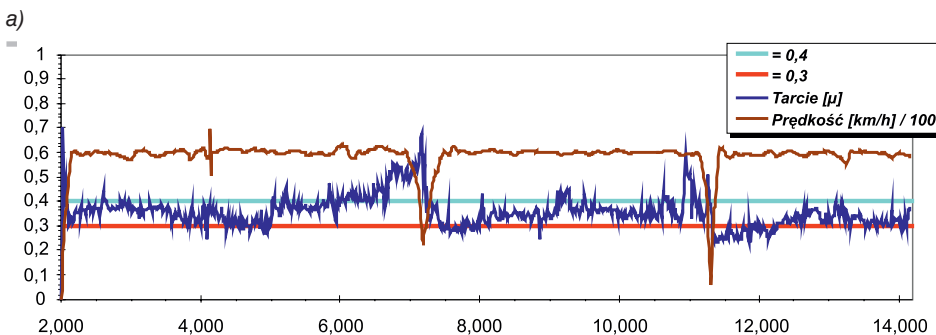
$E(mi)$ – wartość średnia, która jest miarą skupienia wyników pomiarów.

$D(mi)$ – skorygowane odchylenie standardowe, które jest miarą rozproszenia (niejednorodności) wyników pomiaru wokół $E(mi)$, [1].

Jeśli miarą precyzji zastosowanej metody pomiarowej jest niepewność standardowa pojedynczego wyniku pomiaru $S(mi)$, to zgodnie z teorią propagacji niepewności można przyjąć, np. [3], [4] i [15], że niepewność standardowa wartości średniej wynosi $S[E(mi)] = S(mi) / n^{0,5}$, zaś niepewność standardowa wartości miarodajnej odpowiednio $S[M(mi)] = S(mi) \{(3n - 2) / [2n(n - 1)]\}^{0,5}$ i maleją one wraz ze wzrostem liczebności zbioru danych (n). W tabeli 1 zestawiono obliczone wartości ilorazowych współczynników, które można wykorzystać do szacowania niepewności dwóch stosowanych w praktyce odcinkowych ocen stanu nawierzchni jezdni, w zależności od liczby pomiarów wykonanych na jednokilometrowym odcinku pasa ruchu.

Tabela 1. Niepewność standardowa odcinkowej oceny poślizgowości nawierzchni

Liczebność zbioru wyników pomiaru mi na jednokilometrowym odcinku nawierzchni	Wartość średnia, $E(mi)$	Wartość miarodajna, $M(mi)$
n	$S[E(mi)]$	$S[M(mi)]$
10 (co 100 m)	0,316 $S(mi)$	0,394 $S(mi)$
20 (co 50 m)	0,224 $S(mi)$	0,276 $S(mi)$
100 (co 10 m)	0,100 $S(mi)$	0,123 $S(mi)$



Rys. 1. Przykład graficznej prezentacji danych pomiarowych z urządzenia TWO: a) wykres liniowy, b) mapa

Niepewność wyników pomiaru poślizgowości

Niepewność standardowa wyników pomiaru współczynnika tarcia w przypadku założonej metody pomiarowej jest szacowana na podstawie zbiorów wyników otrzymanych w wyznaczonych miejscach nawierzchni z zachowaniem warunków powtarzalności i odtwarzalności. W artykule do analizy porównawczej przyjęto dane z jednoczesnych badań kwalifikacyjnych urządzeń pomiarowych, jakie wykonywano na tym samym odcinku kalibracyjnym według założonego programu w dwóch terminach (badania A i B), tj. przed i po eksperymencie [21], który był przeprowadzony przez Politechnikę Białostocką na zlecenie GDDKiA, a polegał na porównaniu stosowanych w praktyce do oceny właściwości przeciwpoślizgowych nawierzchni różnych metod badawczych na wybranych w tym celu jednokilometrowych odcinkach dróg.

Założonym celem badań kwalifikacyjnych A i B było sprawdzenie zdolności pomiarowej wytypowanych do eksperymentu [21] urządzeń mierzących poślizgowość nawierzchni na podstawie uzyskanych do analizy porównawczej zbiorów wyników pomiaru współczynników tarcia (m_i) i prędkości (V), w aspekcie ich oceny pod względem powtarzalności (precyzji) i odtwarzalności (obciążenia).

Powtarzalność pomiarów odnosi się do oceny stopnia, w jakim wielokrotnie powtarzane w określonych warunkach pomiary w tym samym miejscu nawierzchni, tym samym urządzeniem pomiarowym dają takie same wyniki.

Odtwarzalność zaś dotyczy oceny stopnia zgodności wyników z pomiarów wielokrotnie wykonywanych w tym samym miejscu nawierzchni przez różne urządzenia pomiarowe w tym samym czasie albo przez to samo urządzenie w innym czasie.

Powtarzalność i odtwarzalność pomiarów odnosi się zawsze do łącznego wyrażenia zmienności badanej (mierzonej) właściwości nawierzchni jezdni i zdolności pomiarowej urządzenia pomiarowego, jak również umiejętności zespołu je obsługującego. Miarą tej zmienności jest odchylenie standardowe, jakie oblicza się dla określonego zbioru wyników pomiaru o ustalonej strukturze, które w dalszej części artykułu nazywane będzie niepewnością standardową powtarzalności (Se) albo odtwarzalności (Sr). Przy czym powtarzalność jest najmniejszą miarą oczekiwanej precyzji (niepewności) metody pomiarowej, a odtwarzalność jej miarą największą.

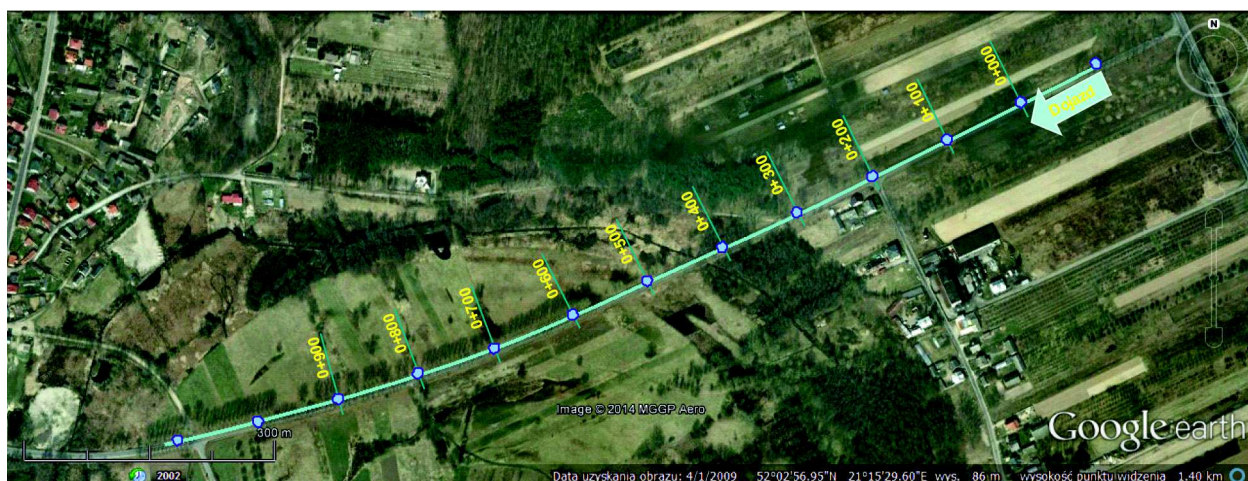
Na ogół w badaniach zgodności chodzi zawsze o porównanie wartości średnich wybranych cech mierzalnych, jakie oblicza się dla odpowiednio pogrupowanych wyników pomiaru, które wewnątrz grup można w sposób uzasadniony przypisać do tej samej mierzonej wielkości. Liczba takich grup w danym eksperymencie powinna odpowiadać założonym bądź rozpoznanyemu źródłom zmienności, a wyrażonym poprzez udział składników stałych bądź losowych. W badaniach istotności wpływu tych źródeł zmienności można posłużyć się metodą analizy wariancji, np. [1] i [11]. Idea tej metody polega na porównaniu zmienności wewnątrzgrupowej (mierzonej odchyleniami od średnich grupowych) ze zmiennością międzygrupową (mierzoną odchyleniami średnich grupowych od średniej ogólnej). Źródło odchylenia wewnątrzgrupowych jest zwykle określane jako *składnik losowy*, *błąd*, *składnik resztowy* (*reszta*), *niepewność*.

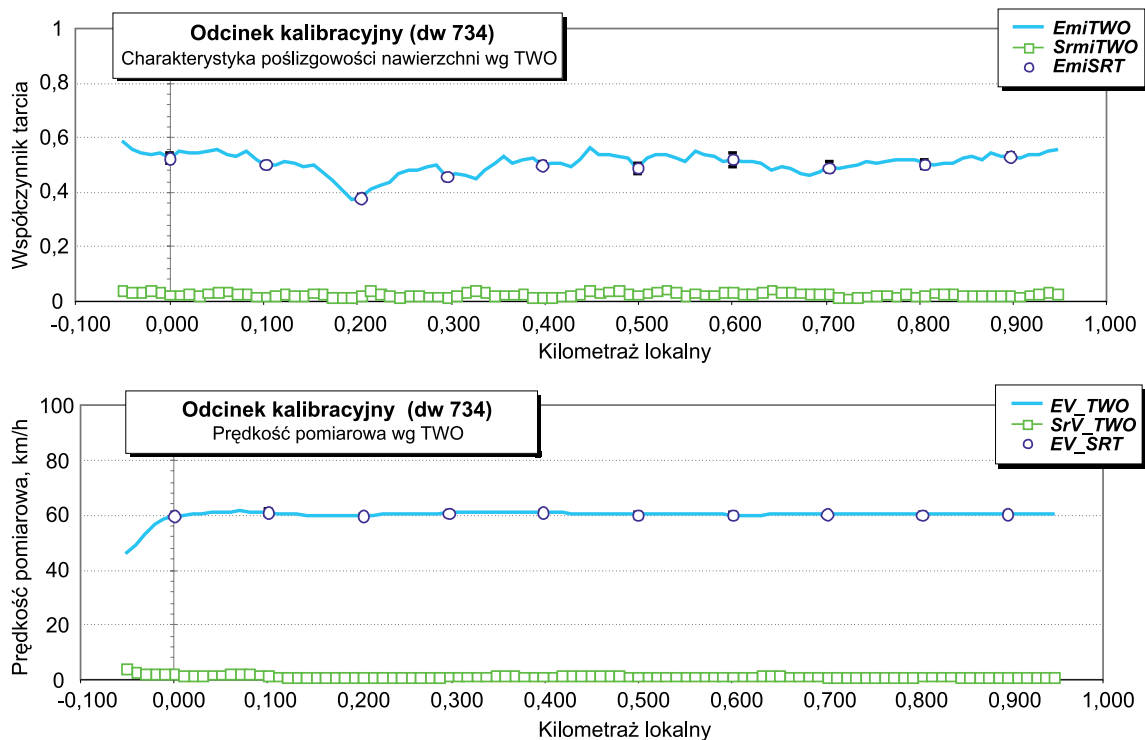
Na ogół w badaniach wielkości udziału wydzielonych addytywnych składników (źródeł zmienności) z ogólnej sumy kwadratów odchylenia w całym zbiorze wyników pomiaru można posłużyć się specjalistycznymi programami komputerowymi, np. [14], które za pomocą odpowiednich statystycznych testów sprawdzają także ich istotność (zwykle na założonym poziomie 0,05 dla statystyk: F , t i p). Dwie najbardziej użyteczne miary pozwalające ocenić wielkość udziałów wydzielonych składników stałych i losowych, to odchylenie standardowe składnika resztowego Se albo Sr (średni błąd dopasowania, niepewność standardowa powtarzalności/odtwarzalności, jako miara precyzji metody pomiarowej) oraz współczynnik determinacji R^2 , który przyjmuje wartości z przedziału $[0;1]$. Im większe jest R^2 , tym mniejszy będzie udział składnika losowego, ale gdy R^2 jest mniejsze od 0,6, to udział efektu stałego na ogół nie będzie istotny.

Odcinek kalibracyjny dla urządzeń SRT-3 i TWO

Do badań porównawczych urządzeń mierzących poślizgowość został wybrany odcinek nawierzchni asfaltowej w stanie dobrym, który jest zlokalizowany na drodze wojewódzkiej nr 734 na lewym pasie ruchu od km 11+800 do 10+900, gdzie odbywa się lokalny ruch pojazdów lekkich, bez istotnego udziału pojazdów ciężkich. Na tym odcinku były prowa-

Rys. 2. Plan sytuacyjny odcinka kalibracyjnego na drodze wojewódzkiej nr 734





Rys. 3. Rozkłady współczynników tarcia nawierzchni (mi) i prędkości pomiarowej (V) na długości odcinka kalibracyjnego według danych z pomiaru ciągłego wykonanego aparatem TWO przed i po eksperymencie [21] (Badanie A i B, $k = 2 \times 5$ przejazdów), gdzie: $EmiTWO$ i EV_TWO – wartości średnie; $SrmiTWO$ i SrV_TWO – niepewności standardowe odtwarzalności wyniku pomiaru oraz $EmiSRT$ i EV_SRT – wartości średnie wraz z 94 proc przedziałem ufności, które obliczono w punktach odpowiadających lokalizacji pomiarów wykonywanych co 100 m urządzeniem SRT-3

dzione przez GDDKiA okresowe badania kalibracyjne aparatów SRT-3, obecnie z oponą testową typu *PIARC*. W tym celu pomiary współczynnika tarcia należy wykonać przy stałej prędkości jazdy 60 km/h w oznaczonych co 100 m 10 punktach nawierzchni jezdni, które są łatwe do rozpoznania przez operatorów, gdyż znajdują się w sąsiedztwie słupków hektrometrowych, według lokalnego układu współrzędnej drogi od km 0+000 do km 0+900 (rys. 2).

Z wyników pomiarów ciągłych współczynnika tarcia, wykonanych urządzeniem TWO (rys. 3), można wnioskować, że poziom poślizgowości nawierzchni na długości odcinka kalibracyjnego GDDKiA charakteryzuje się stosunkowo małą zmiennością. Najniższą wartość mi zarejestrowano na skrzyżowaniu dróg (km 0+200) w pobliżu trzeciego punktu pomiarowego, a najwyższą na odcinku pomiędzy piątym a siódmym punktem pomiarowym (od km 0+400 do km 0+600), różnica mi wynosi ok. 0,20.

Program badań porównawczych urządzeń SRT-3 i TWO

Zgodnie z programem jednoczesnych badań porównawczych trzech urządzeń SRT-3 i jednego TWO, należało na odcinku kalibracyjnym GDDKiA wykonać pomiary mi i V w ustalonym dla nich wspólnym torze pomiarowym z zachowaniem warunków powtarzalności podczas $k = 5$ kolejnych przejazdów ze stałą prędkością jazdy ($V = 60$ km/h) w $a = 10$ punktach. Przy czym w przypadku TWO, ze względu na wykonywany

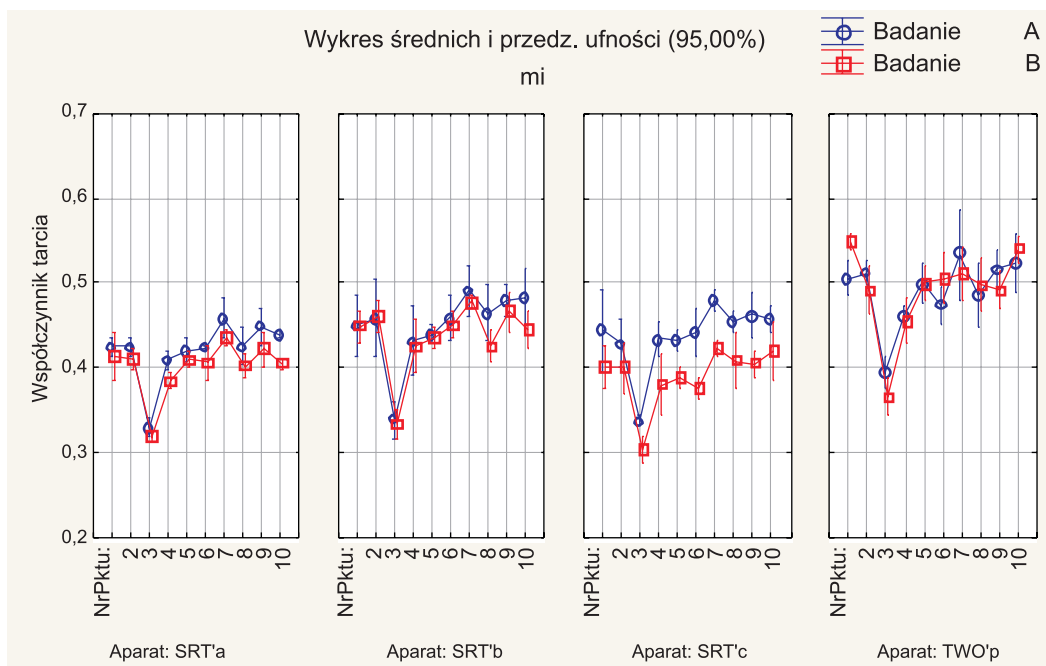
miar ciągły tych dwóch parametrów (rys. 3), do bezpośrednich porównań z SRT-3 były wybierane ze zbioru wynikowego pojedyncze wyniki pomiaru mi i V w przypadku odcinków o długości ok. 10 m oddalonych od siebie co ok. 100 m. A więc uzyskana do analizy liczba danych z pomiarów punktowych w przypadku każdego z dwóch parametrów mi i V wynosi 400 ($a \times k \times \text{liczba urządzeń} \times \text{liczba badań}$), zaś z pomiarów ciągłych wykonanych na całej długości odcinka kalibracyjnego ($a = 100$) otrzymano łącznie 1000 wyników pomiaru.

Do prezentacji na wykresach i tabelach wyników badań pochodzących z analizy zbiorów pomiarów punktowych przyjęto umowne oznaczenia: SRT'a, SRT'b, SRT'c i TWO'p, które będą odnosiły się do konkretnych urządzeń pomiarowych, zaś SRT-3 do urządzenia uogólnionego oraz TWO'c do prezentacji wyników badań otrzymanych z pomiarów ciągłych.

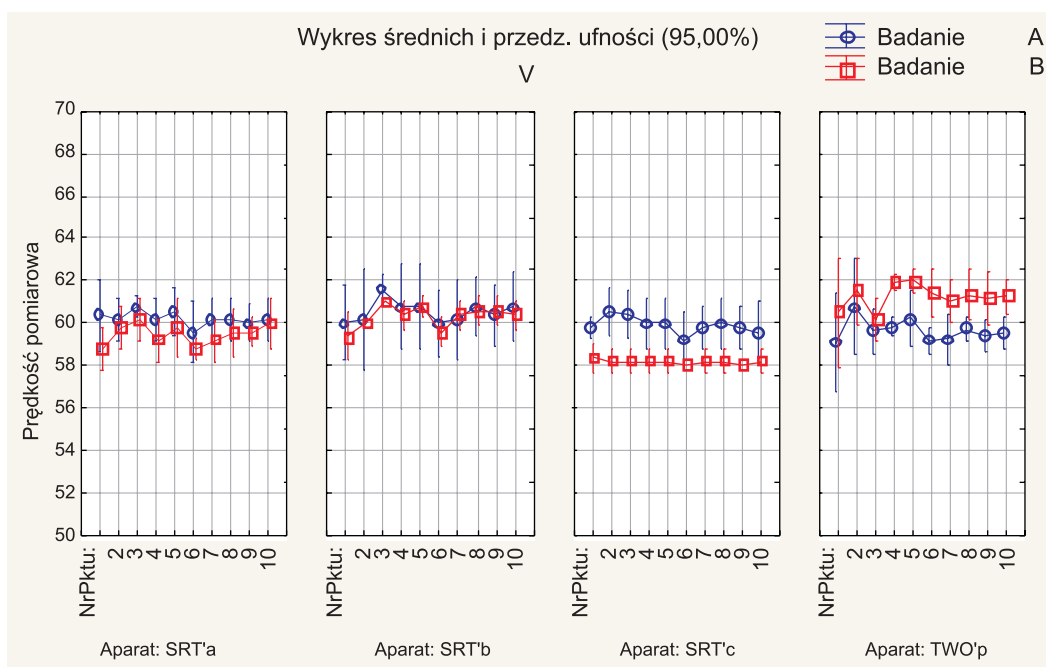
Zestawienie wyników badań mi i V i ich statystycznych ocen

W celu oszacowania statystycznych ocen zbiorów wyników pomiaru skorzystano z metody analizy wariancji w zastosowaniu do odpowiednio pogrupowanych danych pomiarowych, zarówno z wynikami pomiaru współczynnika tarcia, jak i prędkości jazdy urządzeń mierzących poślizgowość nawierzchni. Jest to o tyle interesujące, że w przypadku współczynników tarcia można oczekiwać ujawnienia udziału efektów stałych informujących o niejednorodności badanej właściwości nawierzchni na długości odcinka kalibracyjnego; w przypadku prędkości takiego efektu być nie powinno, ponieważ pomiary należało wykonać ze stałą prędkością 60 km/h.

Uśrednione wyniki pomiaru mi i V wraz z 95% przedziałami ufności w 10 punktach nawierzchni zaprezentowano dla każdego z czterech aparatów pomiarowych na wykresach zbiorczych (rys. 4a i 4b). Natomiast w tabelach 2a i 2b zestawiono otrzymane z analizy statystyczne oceny wyników badań dla



Rys. 4a. Zestawienie uśrednionych wyników pomiaru współczynnika tarcia nawierzchni (m_i) wraz z 95 proc. przedziałem ufności, które wyznaczono oddzielnie dla każdego z dziesięciu punktów pomiarowych i czterech aparatów na podstawie uzyskanych danych podczas badań A i B na odcinku kalibracyjnym GDDKiA



Rys. 4b. Zestawienie uśrednionych wyników pomiaru prędkości (V) wraz z 95 proc. przedziałem ufności, które wyznaczono oddzielnie dla każdego z dziesięciu punktów pomiarowych i czterech aparatów na podstawie uzyskanych danych podczas badań A i B na odcinku kalibracyjnym GDDKiA

poszczególnych zbiorów danych pomiarowych z badań A i B, jakie przyjęto do oceny powtarzalności, oraz połączonych zbiorów AB do oceny odtwarzalności. W tych tabelach przyjęto do oznaczenia w kolumnach umowne symbole parametrów dotyczące analizowanych zbiorów danych: wartość średnia (E), odchylenie standardowe (D_a) jako miara niejednorodności wyników pomiaru (efekt stały), niepewność stan-

dardowa (S) jako miara powtarzalności S_e albo odtwarzalności S_r (efekt losowy), 95 proc. przedział ufności dla wartości średniej (dE) jako miara rozszerzonej niepewności powtarzalności, statystyka testu Snedecora (F) jako statystyczna miara stopnia niejednorodności wyników pomiaru względem wyznaczonej precyzji metody pomiarowej, wartość graniczna statystyki $F(0,05)$ na poziomie istotności 0,05, względna niepewność standardowa ($V\%$) jako iloraz S do E (współczynnik zmienności), oraz współczynnik determinacji ($R^2\%$). Gdy wartość $F > F(0,05)$, to hipotezę o jednorodności zbioru wyników pomiaru należy odrzucić, co w praktyce oznacza, że naturalne zróżnicowanie współczynników tarcia nawierzchni na badanym odcinku testowym jest wykrywane przez urządzenie pomiarowe.

Z ogólnego przeglądu prezentowanych ocen zbiorów danych pomiarowych współczynnika tarcia wynika, że nieco niższe wartości m_i zarejestrowano urządzeniami SRT-3 podczas badań B niż badań A. Największa różnica wystąpiła w przypadku aparatu SRT'c, w którym został wymieniony jeden z czujników w układzie pomiarowym, przy czym poziom wyników jest niewiele niższy niż odpowiedni poziom wyników uzyskanych także podczas badań B przez SRT'a. Z porównywanych zbiorów

danych, jakie w badaniach A i B zarejestrowano trzema urządzeniami SRT-3, wynika, że największe wartości m_i otrzymano dla aparatu SRT'b. Zaś wyniki zarejestrowane w obu badaniach aparatem TWO są zgodne, ale o wartościach większych niż odpowiadające im wyniki z urządzeń SRT-3.

Z prezentowanych na czterech wykresach uśrednionych wyników pomiaru prędkości (rys. 4b) wynika, że podczas

Tabela 2a. Zestawienie wyników badań i statystycznych ocen dla zbiorów danych pomiarowych współczynnika tarcia

Lp.	Urządzenie	Badanie	a	k	E	Da	S	dE(95%)	F	F(0,05)	V%	R2%
1	SRT'a	A	10	5	0,421	0,035	0,012	0,003	41,96	2,12	2,9%	90,4%
2		B	10	5	0,401	0,032	0,012	0,003	33,33	2,12	3,0%	88,2%
3		AB	10	10	0,411	0,033	0,016	0,003	42,97	1,99	3,9%	81,1%
4	SRT'b	A	10	5	0,450	0,043	0,025	0,007	14,84	2,12	5,6%	76,9%
5		B	10	5	0,437	0,040	0,016	0,004	32,68	2,12	3,6%	88,0%
6		AB	10	10	0,443	0,041	0,022	0,004	34,41	1,99	5,0%	77,5%
7	SRT'c	A	10	5	0,438	0,038	0,019	0,005	19,74	2,12	4,4%	81,6%
8		B	10	5	0,391	0,034	0,020	0,006	15,28	2,12	5,0%	77,5%
9		AB	10	10	0,414	0,036	0,031	0,006	13,04	1,99	7,6%	56,6%
10	TWO'p	A	10	5	0,491	0,041	0,023	0,007	15,81	2,12	4,7%	78,1%
11		B	10	5	0,491	0,050	0,020	0,006	32,43	2,12	4,0%	87,9%
12		AB	10	10	0,491	0,044	0,024	0,005	34,85	1,99	4,8%	77,7%
13	SRT-3	A	10	15	0,436	0,038	0,022	0,004	44,03	1,95	5,1%	73,9%
14		B	10	15	0,410	0,034	0,027	0,004	25,02	1,95	6,5%	61,7%
15		AB	10	30	0,423	0,036	0,028	0,003	50,34	1,91	6,6%	61,0%
16	TWO'c	A	100	5	0,507	0,031	0,025	0,002	7,69	1,28	4,9%	65,6%
17		B	100	5	0,504	0,047	0,019	0,002	30,60	1,28	3,8%	88,3%
18		AB	100	10	0,506	0,037	0,028	0,002	17,46	1,26	5,5%	65,8%

Tabela 2b. Zestawienie wyników badań i statystycznych ocen dla zbiorów danych pomiarowych prędkości

Lp.	Urządzenie	Badanie	a	k	E	Da	S	dE(95%)	F	F(0,05)	V%	R2%
1	SRT'a	A	10	5	60,2	0,3	0,9	0,3	0,65	2,12	1,5%	12,7%
2		B	10	5	59,5	0,5	0,8	0,2	1,67	2,12	1,4%	27,3%
3		AB	10	10	59,9	0,4	0,9	0,2	1,49	1,99	1,6%	13,0%
4	SRT'b	A	10	5	60,6	0,5	1,4	0,4	0,64	2,12	2,3%	12,6%
5		B	10	5	60,3	0,5	0,5	0,1	4,63	2,12	0,9%	51,0%
6		AB	10	10	60,4	0,5	1,0	0,2	2,27	1,99	1,7%	18,5%
7	SRT'c	A	10	5	59,9	0,4	0,9	0,3	0,88	2,12	1,6%	16,5%
8		B	10	5	58,2	0,1	0,4	0,1	0,38	2,12	0,7%	7,9%
9		AB	10	10	59,1	0,2	1,2	0,2	0,37	1,99	2,0%	3,6%
10	TWO'p	A	10	5	59,7	0,6	1,1	0,3	1,30	2,12	1,8%	22,6%
11		B	10	5	61,3	0,5	0,9	0,3	1,45	2,12	1,5%	24,7%
12		AB	10	10	60,5	0,5	1,3	0,3	1,32	1,99	2,2%	11,7%
13	SRT-3	A	10	15	60,2	0,3	1,1	0,2	1,53	1,95	1,8%	9,0%
14		B	10	15	59,3	0,3	1,1	0,2	1,17	1,95	1,9%	7,0%
15		AB	10	30	59,8	0,3	1,2	0,1	2,14	1,91	2,0%	6,2%
16	TWO'c	A	100	5	59,9	0,5	1,1	0,1	1,03	1,28	1,8%	20,4%
17		B	100	5	61,3	0,5	0,9	0,1	1,54	1,28	1,5%	27,6%
18		AB	100	10	60,5	0,4	1,3	0,1	0,95	1,26	2,1%	9,4%

badan A wszyscy kierowcy utrzymywali na ogół stałą prędkość równą ok. 60 km/h. Natomiast podczas badań B największe odstępstwa wystąpiły w przypadku aparatów SRT'c (po ponownej kalibracji urządzenia w związku z wymianą czujnika) oraz TWO (zmiana kierowcy). Z badań wpływu prędkości pomiarowej na mierzone wartości współczynnika tarcia, jakie przedstawiono w pracy [18], wynika, że występujące tutaj odstępstwa dV w przedziale do 2 km/h można uznać za nieznaczne, gdyż spowodowane tym różnice wartości wyników pomiaru współczynnika tarcia wynoszą do 1,1%.

Na dwóch wykresach (rys. 5a i 5b) zaprezentowano względne niepewności standardowe powtarzalności (współczynniki zmienności) według danych z badań A i B, oraz odtwarzalności wyników pomiaru według połączonych danych z obu tych badań, które oznaczono w skrócie AB.

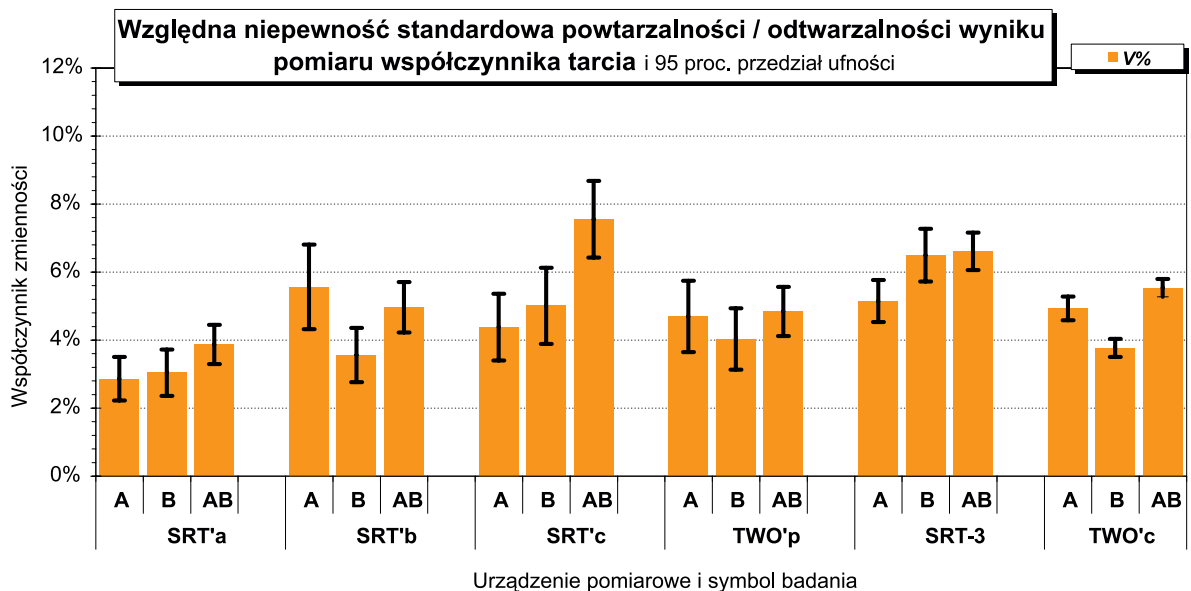
Oceny powtarzalności wyników pochodzące z pomiarów współczynników tarcia wykonanych na odcinku kalibracyjnym trzema urządzeniami SRT-3 i jednym TWO (rys. 5a)

układają się w granicach statystycznego błędu na tym samym poziomie w przedziale $3 \div 5$ proc. ($Se \approx 0,02$), zaś oceny odtwarzalności w przedziale $4 \div 8$ proc. Z grupy trzech urządzeń SRT-3 najlepsze oceny precyzji uzyskał zespół obsługujący aparat SRT'a. Natomiast zespół SRT'c otrzymał dużo gorszą ocenę odtwarzalności względem dwóch ocen powtarzalności, co świadczy o pewnym obciążeniu tej metody pomiarowej, którego źródłem może być kalibracja tego urządzenia po wymianie czujnika albo nieco inny sposób realizacji pomiaru. Natomiast odpowiednie oceny niepewności wyników pochodzących z pomiarów punktowych i ciągłych wykonanych urządzeniem TWO są sobie równe.

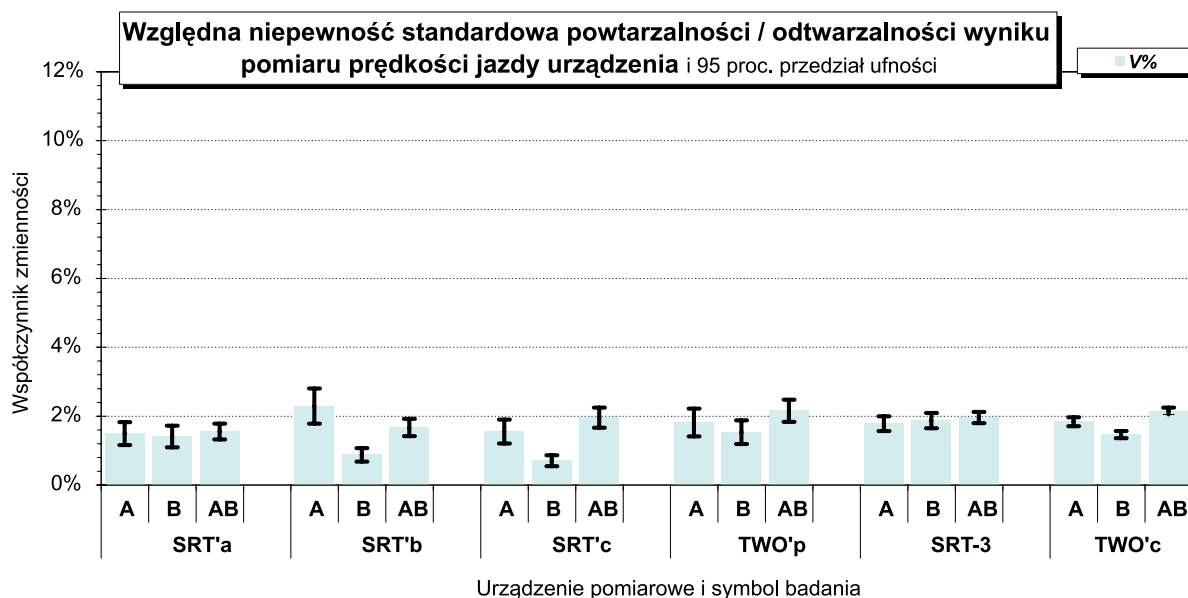
Z tego wynika, że oceny względnej precyzji pomiaru współczynników tarcia nawierzchni są takie same dla obu porównywanych typów urządzeń pomiarowych.

Oceny powtarzalności i odtwarzalności wyników pomiaru prędkości jazdy urządzeń mierzących poślizgowość nawierzchni układają się na poziomie poniżej 2% ($Se \approx 1$ km/h) (rys. 5b).

Rys. 5a. Zestawienie ocen powtarzalności i odtwarzalności wyników pomiaru współczynnika tarcia nawierzchni



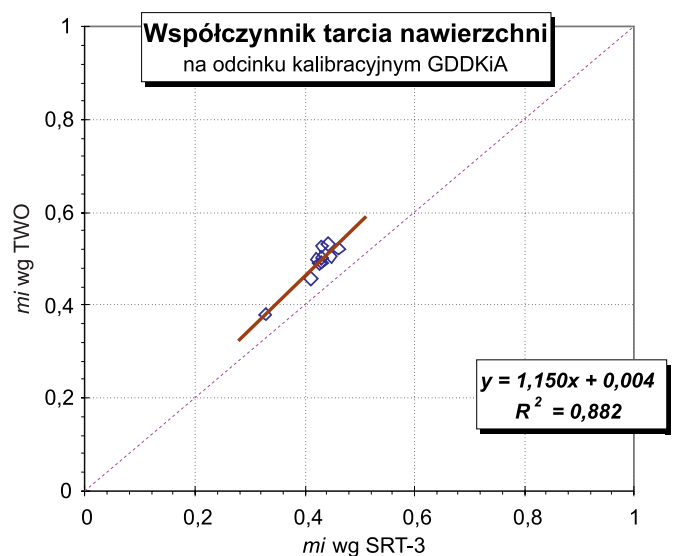
Rys. 5b. Zestawienie ocen powtarzalności i odtwarzalności wyników pomiaru prędkości jazdy urządzeń pomiarowych



Ocena współzależności wyników pomiaru *mi*

Wartości współczynników tarcia nawierzchni jezdni, jakie były mierzone urządzeniami SRT-3 w dziesięciu punktach na odcinku kalibracyjnym, są istotnie mniejsze od odpowiednich wartości współczynników mierzonych urządzeniem TWO (rys. 4a), aby określić wielkość tej różnicy przyjęto do bezpośrednich porównań połączone dane z badań AB dla uogólnionego aparatu SRT-3 i dla TWO (rys. 6).

Wartość średnia współczynnika przeliczeniowego w przypadku wyników pomiaru *mi* z urządzenia SRT-3 na odpowiadające im wyniki pomiaru TWO została wyznaczona na podstawie ilorazu odpowiadających sobie par danych i równa się $1,160 \pm 0,010$, a jej odwrotność $0,862 \pm 0,007$. Otrzymany z obliczeń współczynnik posłużył do przeliczenia danych pomiarowych z TWO na wyniki równoważne wynikom pomiaru urządzeniem SRT-3 z oponą typu PIARC (tab. 3). Z tego zestawienia wynika, że odcinkowe oceny poślizgowości badanej nawierzchni jezdni na odcinku testowym są



Rys. 6. Zestawienie wyników pomiaru współczynnika tarcia nawierzchni w przypadku uogólnionego urządzenia SRT-3 i urządzenia TWO

Tabela 3. Zestawienie odcinkowych ocen stanu nawierzchni i ocen precyzji wyników pomiaru współczynnika tarcia obliczonych dla 100% poślizgu opony pomiarowej typu PIARC

Typ urządzenia	Odcinkowa ocena poślizgowości nawierzchni wraz 95% przedziałem ufności		Niepewność standardowa	
	E	E – Da	powtarzalności Se	odtwarzalności Sr
SRT-3	0,423 ±0,011	0,387 ±0,014	0,018	0,024 (jedno urządzenie)
				0,028 (różne urządzenia)
TWO	0,423 ±0,012	0,385 ±0,015	0,019	0,020
TWO pomiar ciągly	0,436 ±0,004	0,404 ±0,005	0,019	0,024

i systemowej oceny stanu nawierzchni jezdni, jak również do badań jej poślizgowości w miejscach szczególnych, np. zdarzeń drogowych.

Autorzy artykułu dziękują przedstawicielom Oddziału GDDKiA w Gdańsku i Politechniki Białostockiej za możliwość czynnego uczestniczenia w eksperymencie porównującym możliwości pomiarowe różnych urządzeń mierzących właściwości przeciwpoślizgowe nawierzchni drogowych [21].

w granicach statystycznego błędu równe, zarówno dla zbiorów danych z pomiarów punktowych, jak i bardziej licznych zbiorów danych z pomiarów ciągłych, w przypadku których uzyskano znacznie mniejsze przedziały ufności jako miary rozszerzonej niepewności powtarzalności.

Podsumowanie

W badaniach zdolności pomiarowej urządzeń mierzących poślizgowość nawierzchni brały udział trzy aparaty typu SRT-3 i jeden typu TWO. Pomiar współczynników tarcia były wykonywane w ustalonym torze pomiarowym na odcinku kalibracyjnym, przy czym urządzeniem SRT-3 przy pełnej blokadzie koła (100% poślizg opony PIARC) na zwilżonych wodą jednostkowych odcinkach nawierzchni jezdni o długości ok. 10 m i oddalonych od siebie co 100 m (tzw. pomiar punktowy), a urządzeniem TWO w sposób ciągly przy stałym poślizgu opony testowej 17,8% na zwilżanej wodą nawierzchni na całej długości odcinka kalibracyjnego.

Zgodnie z ustalonym programem badań porównawczych, należało każdym z urządzeń mierzących poślizgowość nawierzchni wykonać w tym samym czasie w odstępie dwóch tygodni po pięć przejazdów pomiarowych ze stałą prędkością $V = 60$ km/h na jednokilometrowym odcinku kalibracyjnym z zachowaniem warunków powtarzalności i odtwarzalności. W porównaniach uzyskanych zbiorów wyników pomiaru współczynników tarcia (m_i) i prędkości (V) posłużono się metodą analizy wariancji w celu oceny istotności różnic pomiędzy wydzielonymi w tym celu grupami danych. W wyniku zastosowania tej statystycznej metody zostały wyznaczone względne oceny precyzji wyników pomiaru, które świadczą o jednakowej zdolności pomiarowej obu porównywanych ze sobą typów urządzeń.

Z przeprowadzonych badań porównawczych wynika, że zarejestrowane urządzeniem TWO wyniki pomiaru współczynników tarcia nawierzchni są co do wartości o ok. 16 proc. większe niż urządzeniami SRT-3, przy czym charakteryzują się one takim samym poziomem ocen precyzji zarówno dla zbiorów danych z pomiarów punktowych, jak i dla zbiorów danych z pomiarów ciągłych, które informują z wybraną rozdzielczością o stanie poślizgowości nawierzchni na całej długości badanego odcinka jezdni.

Dane pomiarowe z urządzenia TWO mogą być z powodzeniem wykorzystane w praktyce do badań odbiorczych

Bibliografia

- [1] J. Greń, *Statystyka matematyczna. Modele i zadania*, Wydanie VIII, PWN, Warszawa 1984
- [2] B. Szwabik, W. Hanula, S. Szpinek, pod kierunkiem K. Czarneckiego, *Kontrakt na wykonanie pięciu zestawów SRT-3²*, Sprawozdanie dla GDDP, IBDiM, Warszawa 1994
- [3] J.R. Taylor, *Wstęp do analizy błędów pomiarowych*, PWN, Warszawa, 1999
- [4] *Wyrażanie niepewności pomiaru. Przewodnik*. GUM, Warszawa, 1999
- [5] *Warunki techniczne, jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich użytkowanie*, Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 2 marca 1999 roku (Dz. U. Nr 43, poz. 430)
- [6] *Przepisy techniczno-budowlane dotyczące autostrad płatnych*, Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 16 stycznia 2002 roku (Dz. U. Nr 12, poz. 116)
- [7] *System Oceny Stanu Nawierzchni „SOSN”*, wytyczne stosowania, GDDP BSSD, Warszawa, luty 2002
- [8] S. Szpinek, *Jak przeliczać współczynniki tarcia nawierzchni* (artykuł dyskusyjny) „Drogownictwo” 10/2002
- [9] S. Szpinek, *Omówienie wyników pomiaru z badań porównawczych pięciu zestawów SRT-3*, raport dla GDDKiA, DRO-KON-SULT, Warszawa, listopad 2002
- [10] S. Szpinek, *Oszacowanie precyzji pomiaru współczynnika tarcia nawierzchni lotniskowej na podstawie danych z porównawczych badań specjalistycznych urządzeń typu SAAB i SRT-3 używanych w Polsce do oceny szorstkości*, referat w materiałach z X Międzynarodowej Konferencji pt. *Trwałe i bezpieczne nawierzchnie drogowe*, Kielce, 11-12 maja 2004
- [11] S.M. Kot, J. Jakubowski i A. Sokołowski, *Statystyka. Podręcznik dla studiów ekonomicznych*, Difin, Warszawa, 2007
- [12] *WT-2 nawierzchnie asfaltowe 2008. Nawierzchnie asfaltowe na drogach publicznych*. Wymagania Techniczne rekomendowane przez Ministra Infrastruktury do stosowania na terenie RP, IBDiM, Warszawa 2008
- [13] Praca zbiorowa pod kierunkiem T. Mechowskiego, *Opracowanie funkcji przeliczeniowych wartości współczynnika tarcia uzyskiwanych urządzeniami SRT-3 i T2GO*, sprawozdanie IBDiM z realizacji pracy TD-89, Warszawa, 9/2010
- [14] *STATISTICA – Przewodnik*, StatSoft Polska, Kraków 2011
- [15] S. Szpinek, *Niepewność oceny równości nawierzchni drogowej „Drogownictwo” 3/2013*
- [16] *Instrukcja obsługi TWO, Dokumentacja techniczno ruchowa*, Topopol, Warszawa 2013
- [17] Praca zbiorowa pod kierunkiem T. Mechowskiego, *Aktualizacja zależności funkcyjnych w pomiarach urządzeniem SRT-3 między wartościami współczynników tarcia uzyskiwanymi na oponach PIARC i Barum Bravuris*, raport dla GDDKiA, IBDiM, Warszawa, grudzień 2013

² Autorzy Sprawozdania są współtwórcami patentu „PL 174435 B1 – Urządzenie do pomiaru przyczepności nawierzchni drogowych”, nazwanego w skrócie SRT-3, którego właścicielem jest IBDiM.

- [18] S. Szpinek, *Analiza wyników pomiaru poślizgowości nawierzchni jezdni drogowych na podstawie danych z Raportu IBDiM z dnia 9 grudnia 2013 r. pt.: „Aktualizacja zależności funkcyjnych w pomiarach urządzeniem SRT-3 między wartościami współczynników tarcia uzyskiwanymi na oponach PIARC i Barum Bravuris”*, Raport dla GDDKiA, Polska Inżynieria, Warszawa 12/2013
- [19] W. Michalski, M. Danowski, *Ocena szorstkości nawierzchni nowym urządzeniem pomiarowym ViaFriction*, „Nawierzchnie Asfaltowe” nr 4/2014
- [20] S. Szpinek, *Ocena powtarzalności i odtwarzalności wyników po-*

- miaru współczynnika tarcia nawierzchni otrzymanych z trzech urządzeń SRT-3 i dwóch TWO na odcinku kalibracyjnym dw nr 734*, raport dla PB, Warszawa, listopad 2014
- [21] M. Wasilewska, W. Gardziejczyk, P. Gierasimiuk i M. Motylewicz, *Analiza porównawcza parametrów opisujących właściwości przeciwoślizgowe nawierzchni drogowych, ustalonych w oparciu o wyniki pomiarów współczynnika tarcia i makrotekstury przy wykorzystaniu zestawów pomiarowych: SRT-3 (Skid Resistance Tester), TWO (Traction Watcher One), DFT (Dynamic Friction Tester) oraz CTM (Circular Track Meter)*, raport dla GDDKiA, Politechnika Białostocka, Białystok, grudzień 2014

Z serwisu internetowego

Dziewięciu chętnych na przebudowę drogi krajowej nr 8 Paszków – Radziejowice (ostatni odcinek drogi Piotrków Tryb. – Warszawa)

Dziewięć firm i konsorcjów ubiega się o kontrakty na przebudowę 21,5 km fragmentu drogi krajowej nr 8 z Paszkowa do Radziejowic.

Na realizację inwestycji zamawiający zamierza przeznaczyć ok. 802 mln zł. Inwestycja polegająca na rozbudowie drogi krajowej do parametrów trasy ekspresowej została podzielona na dwa zadania – Zadanie I: Radziejowice – Przeszkoda (9,9 km) i zadanie II: Przeszkoda – Paszków (11,6 km). Każdy z wykonawców zaproszonych do składania ofert mógł ubiegać się o realizację jednego zadania.

Na zaprojektowanie i przebudowę 9,9 km trasy z Radziejowic do Przeszkody zamawiający przeznaczył 343,9 mln zł. Złożonych zostało sześć ofert o wartości od 306,9 mln zł do 457,7 mln zł.

Realizacja kolejnego fragmentu trasy z Przeszkody do Paszkowa została oszacowana na ok. 457,9 mln zł. Wpłynęły trzy oferty o wartości od 436,6 mln zł do 446 mln zł.

Wybierając najkorzystniejszą ofertę pod uwagę brana będzie ofertowana cena i okres udzielonej gwarancji.

Przebudowa drogi krajowej nr 8 do parametrów trasy ekspresowej jest realizowana w systemie optymalizuj i buduj, co oznacza, że wykonawcy mogą zmienić gotowy projekt budowlany pod warunkiem, że będzie zgodny z programem funkcjonalno-użytkowym i decyzją środowiskową.

Umowę z wybranym wykonawcą GDDKiA zamierza podpisać w I połowie 2015 roku – po wyborze najkorzystniejszej oferty i zakończeniu kontroli Prezesa Urzędu Zamówień Publicznych. Przewidywany termin rozpoczęcia prac to połowa 2016 roku, a zakończenia to grudzień roku 2018. Wówczas kierowcy będą mieli do dyspozycji trasę ekspresową S8 z Warszawy do Radziejowic pod Mszczonowem, połączoną w węzle Opacz z warszawskim ringiem.

Kontrakt na przebudowę DK 8 do parametrów trasy ekspresowej na odcinku od Radziejowic do Paszkowa przewiduje kontynuację projektowania i rozbudowę drogi krajowej do parametrów drogi ekspresowej czyli m.in. likwidację przejść dla pieszych w poziomie drogi, budowę skrzyżowań bezkolizyjnych czy ekranów akustycznych.

Droga będzie budowana po śladzie obecnej istniejącej trasy. Po zakończeniu prac kierowcom zostanie udostępniona droga dwujezdniowa z dwoma pasami ruchu w obu kierunkach z możliwością poszerzenia jej do trzech pasów ruchu.

Zakres prac obejmuje również budowę czterech węzłów drogowych (Żabia Wola, Siestrzeń, Młochów, Nadarzyn), 21 obiektów inżynierskich oraz 4 Miejsce Obsługi Podróżnych kategorii I oraz Obwodu Utrzymania Drogi w Nadarzynie.

10-02-2015

Wybrał TS

źródło: <http://www.gddkia.gov.pl/pl/2659/Aktualnosc>

Ciekawa kładka nad „Zakopianką” w Jaworniku

W Jaworniku (woj. małopolskie) wybudowano kładkę, która pozwoli pieszym bezpiecznie przejść przez drogę krajową nr 7. Kładka dostosowana jest do potrzeb osób niepełnosprawnych. Do ich dyspozycji są windy. Konstrukcja kładki w Jaworniku ma nietypowy kształt, który wyróżnia ją na tle podobnych obiektów w kraju.

Inwestycję realizowała firma „REMOST S.C. Budowa i Remonty Mostów, Projekty, Ekspertyzy” z Czernichowa, za cenę ofertową: 6 626 536,50 złotych. Całkowity koszt inwestycji (wraz z dokumentacją i nadzorem) wynosi ponad 7,5 mln zł. Pieniądze na ten cel w 85% pokryje dotacja unijna z Programu Operacyjnego Infrastruktura i Środowisko, ponieważ kładka spełniała kryteria unijne.

Do zakresu robót, które wykonano oprócz samej budowy kładki:

- przebudowa sieci teletechnicznej;
- przebudowa i budowa sieci energetycznej;
- budowa odcinka kanalizacji deszczowej odprowadzającego wody opadowe z kładki i przylegającego terenu;
- przebudowa ogrodzenia;
- budowa dojeżdż do kładki wraz z pobocznymi i korpusem;
- budowa odwodnienia liniowego;
- budowa drogi dojazdowej o nawierzchni tłuczniowej.



13-02-2015

Wybrał: TS

źródło: <http://www.gddkia.gov.pl/pl/2659/Aktualnosc>